

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences d'appliquée



Département Génie Mécanique

MEMOIRE  
MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle (MI)

Présenté par :  
BEN ACHOURA MED SEGHIR

BABAARBI HAIDAR

Thème

Modélisation d'une structure poutre sous  
sollicitation statique par la méthode des  
éléments finis

Soutenu publiquement:

Le : 15/ 06/ 2021

Devant le jury composé de :

Mr.ZERROULM

M.C.A

Président

UKM Ouargla

Mr. HECINI.A

M.A

Encadreur

UKM Ouargla

Mr. KINA.M

M.A

Examineur

UKM Ouargla

Année Universitaire: 2020/2021

# REMERCIEMENT

Nous remercions, en premier lieu dieu qui nous a données la Force et le pouvoir pour effectuer ce travail.

Nous tenons à remercier très chaleureusement notre encadreur **Mr : ADEL HECINI** pour son aide, sa disponibilité et ses conseils tout au long de ce travail.

Nous adressons également nos remerciements à Monsieur le **Mr : ZERROUKI MOUSSA** pour avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury de soutenance.

Nous remercions aussi l'enseignant : **KINA MOHAMMED SALAH**, qui a accepté d'être examinateur de ce mémoire.

Nous remercions très chaleureusement nos parents et nos familles, pour leur compréhension, leur soutien et leur encouragement qui nous ont aidés à bien terminer ce mémoire.

Un grand remerciement a tous les enseignants du département de Génie Mécanique et mes collègues et tous mes amis.

# الإهداء

بعد بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات.

وبتوفيق من الله عز وجل وبعون من الله تعالى تم إنجاز هذا

العمل المثنواضع.

الذي أهديه إلى كل من :

أبي الذي أسأل الله أن يرحمه ويجعله من أهل الجنة

ان شاء الله.

وإلى أمي وإخوتي.

وإلى كل الأحبة والأصدقاء وكل من أعرفه من قريب

أو من بعيد.

## Résumé :

L'étude et la modélisation des structures poutres encastrées sous sollicitation de flexion et traction demeurent un objet très important non seulement dans le domaine de la construction mécanique mais aussi dans les domaines de génie civil, aéronautique, maritime, etc.

Pour bien comprendre la méthode des élément finis (MEF). Il est essentiel que nous avons une bonne connaissance de l'objectif principal de cette étude, outre, il est nécessaire de comprendre comment les propriétés mécaniques et géométriques vont influencer les structures en matériaux monocouches sur le comportement globale d'une poutre sollicitée en flexion et traction, dans notre étude, nous utilisons la méthode des éléments finis en choisissant l'ABAQUS comme logiciel de calcul.

**Mots clés :** modélisation, structures, méthode des élément finis (MEF), matériaux composites, poutre sollicitée, Monocouches.

## Abstract:

The study and modelling of bundle structures embedded under bending pressure and traction remains a very important object, not only in the field of mechanical engineering but also in the fields of civil engineering, aeronautics, maritime ... etc.

We needed to have a good knowledge of the main objective of this study in order to understand the method of finite elements well (MEF), which requires to understand how the mechanical and engineering properties of structures in mono-layer materials affect the overall behavior of the bending package and traction. In this study, we have used the finite element method by selecting ABAQUS as an arithmetic program.

**Key words:** modelling, structure, finite element method (FEM), composite materials, loaded package, monolayer.

## المخلص :

تظل دراسة ونمذجة هياكل الحزم المضمنة تحت ضغط الانحناء و الجر موضوعًا مهمًا للغاية ليس فقط في مجال البناء الميكانيكي ولكن أيضًا في مجالات الهندسة المدنية ، والملاحة الجوية ، والبحرية ، إلخ. لفهم طريقة العناصر المحدودة جيدًا و بشكل عام. كان من الضروري أن يكون لدينا معرفة جيدة بالهدف الرئيسي لهذه الدراسة وهو فهم كيفية تأثير الخصائص الميكانيكية والهندسية على الهياكل في المواد أحادية الطبقة على السلوك العام للحزمة المحملة بالانحناء والجر ، في دراستنا ، نستخدم طريقة العناصر المحدودة باختيار ABAQUS كبرنامج حساب.

**الكلمات المفتاحية:** نمذجة ، هيكل ، طريقة العناصر المحدودة (MEF)، مواد مركبة ، الحزمة المحملة، أحادية الطبقة .

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des symboles

**Introduction générale**

**CHAPITRE 01 : GÉNÉRALITES SUR LA MÉTHODE DES  
ÉLÉMENTS FINIS**

1.1 Introduction.....4

    1-1.1 Définition de la méthode des éléments fini.....4

    1-1.2 Historique.....5

    1.1.3 Avantages et inconvénients de la MEF.....6

        1.1.3.1 Les Avantages de la MEF.....6

        1.1.3.2 Les Inconvénients de la MEF.....6

1.2 Etapes de la méthode des éléments finis.....7

1.3 Caractéristiques d'un élément fini.....7

    1.3.1 Les nœuds géométriques.....7

    1.3.2 Attributs d'un élément fini.....8

    1.3.3 Concept de la méthode des éléments finis.....9

    1.3.4 Type des éléments finis.....10

    1.3.5 Choix des éléments finis.....12

    1.3.6 Qualité d'un élément fini.....12

1.4 Principes de la MEF.....13

1.5 Les différents types de modèles d'un EF.....14

    1.5.1 Modèle déplacement.....14

    1.5.2 Modèle mixte.....14

    1.5.3 Modèle équilibre ou contrainte.....14

1.5.4	Modèle hybride.....	15
1.5.5	Modèle en déformation.....	15
1.6	Domaines d'application de la MEF.....	15
1.7	Étapes logiques du calcul par éléments finis.....	15
1.8	Utilisation d'un Logiciel élément fini.....	16
1.9	Conclusion.....	17

## CHAPITRE 02 : PRESENTATION DE L'OUTIL INFORMATIQUE

2.1	Introduction.....	18
2.2	Définition de logiciel de calcul par éléments finis ABAQUS.....	18
2.2.1	ABAQUS/Standard.....	18
2.2.2	ABAQUS/Explicit.....	19
2.2.3	ABAQUS/CAE.....	19
2.3	Système d'unités dans le code de calcul ABAQUS.....	20
2.3.1	Caractéristiques de logiciel ABAQUS.....	20
2.3.2	Type d'analyse.....	21
2.4	Les éléments utilisés par ABAQUS.....	21
2.5	Organisation de l'interface Abaqus CAE.....	23
2.6	Les modules.....	23
2.7	Les différents fichiers pour la simulation sous ABAQUS.....	26
2.7.1	Fichier d'entrée (Input file).....	26
2.7.2	Fichier de résultats (output file).....	26
2.7.3	Autres fichiers créés par ABAQUS lors de la simulation.....	26
2.8	Types d'élément.....	26
2.8.1	L'élément C3D8.....	27
2.8.2	L'élément C3D8R.....	28
2.9	Conclusion.....	30

## CHAPITRE 03 : Matériaux composites, notions et définitions

3.1 Introduction.....	31
3.2 Définition d'un matériau composite.....	31
3.3 Avantage des matériaux composites.....	32
3.4 Les constituants des matériaux composites.....	32
3.4.1 La matrice.....	33
3.4.1.1 Différentes natures de la matrice.....	33
3.4.2 Les renforts.....	33
3.4.2.1 Différents types de renfort.....	34
3.5 Structure des matériaux composites.....	34
3.5.1 Monocouche ou pli.....	35
3.5.2 Stratifiés.....	35
3.6. Les avantages et les inconvénients d'un matériaux composites.....	36
3.7. Quelques définitions.....	36
3.8 CONCLUSION.....	37

## CHAPITRE 04 : Résultats

4.1 INTRODUCTION.....	38
4.2 structure en matériaux isotropes.....	38
4.2.1 Influence de du module de Young E.....	40
4.2.2 Influence du coefficient de poisson.....	41
4.3 structure en matériaux Orthotrope .....	42
4.3.1 Influence de du module de Young E1.....	43
4.3.2 Influence de du module de Young (E2, E3) .....	44
4.3.3 Influence du coefficient de poisson (V23).....	45
4.3.4 Influence du coefficient de poisson (V12, V13).....	46
4.3.5 Influence du module de cisaillement G23.....	47
4.3.6 Influence du module de cisaillement (G12, G13) .....	48
<b>Conclusions générale.....</b>	<b>49</b>

## Références bibliographiques

**Liste des tableaux**

**Tableau 1.1** : les types d'éléments finis.....11  
**Tableau 2.1** : Système d'unités pour la programmation.....20



Liste des figures

**Figure 1.1** : Domaine V discrétisé par sous domaine  $V_e$ .....8

**Figure 1.2** : *Maillage du domaine en triangles à trois nœuds*.....9

**Figure 1.3** : principe d’analyse par la MEF.....13

**Figure 2.1** : Structure d’une analyse sous Abaqus.....19

**Figure 2.2** : Quelques éléments dans Abaqus.....22

**Figure 2.3** : Les types d’intégrations et le nombre de nœuds.....22

**Figure 2.4** : Organisation d’ABAQUS.....23

**Figure 2.5** : Réalisation de la mise en données d’un problème.....24

**Figure 2.6** : Élément de brique à 8 nœuds.....27

**Figure 2.7** : Point d’intégration  $2 \times 2 \times 2$  schéma en éléments hexaédrique.....27

**Figure 2.8** : Nom de l’élément (C3D8) de maillage solide Continuum dans Abaqus.....28

**Figure 2.9** : Schéma de points d’intégration  $1 \times 1 \times 1$  dans les éléments hexaédriques.....29

**Figure 2.10** : Nom de l’élément (C3D8R) de maillage solide Continuum dans Abaqus.....30

**Figure 3.1** : Schéma illustratif d’un matériau composite.....32

**Figure 3.2** : Différentes familles de matrice.....33

**Figure 3.3** : Les différentes familles de renfort.....34

**Figure 3.4** : Schéma Monocouche ou pli.....35

**Figure 3.5** : Constitution d’un stratifié.....35

**Figure 4.1** : structure poutre encastree.....38

**Figure 4.2** : simulation par logiciel ABAQUSE.....39

**Figure 4.3** : Evolution de déplacement en fonction du module d'Young.....40

**Figure 4.4** : Evolution de déplacement en fonction de coefficient de poisson.....41

**Figure 4.5** : simulation par logiciel ABAQUSE.....42

**Figure 4.6** : Evolution de déplacement en fonction du module d'Young ( $E_1$ ).....43

**Figure 4.7** : Evolution de déplacement en fonction du module d'Young ( $E_2=E_3$ ).....44

**Figure 4.8** : Evolution de déplacement en fonction de coefficient de poisson ( $\nu_{23}$ ).....45

**Figure 4.9** : Evolution de déplacement en fonction de coefficient de poisson ( $\nu_{12}=\nu_{13}$ ).....46

**Figure 4.10** : Evolution de déplacement en fonction du module de cisaillement ( $G_{23}$ ).....47

**Figure 4.11** : Evolution de déplacement en fonction du module de cisaillement ( $G_{12}=G_{13}$ )...48

## Liste Des Symboles

<b>Symbole</b>	<b>Désignation</b>	<b>Unité</b>
<b>MEF</b>	Méthode des élément finis.	
<b>1D</b>	Unidimensionnelle.	
<b>2D</b>	Bidimensionnelle.	
<b>3D</b>	Tridimensionnelle.	
<b>V</b>	coefficient de Poisson	
<b>H</b>	Epaisseur	m
<b>E</b>	module d'Young	MPa
<b>G</b>	module de cisaillement	MPa
<b>q</b>	la charge appliquée	MPa
<b>U</b>	déplacements	m
<b>{ }</b>	Vecteur colonne	
<b>[ ]</b>	Matrice	
<b>{U}</b>	Vecteur des déplacements nodales	
<b>{F}</b>	Vecteur des forces	
<b>[Ke]</b>	Matrice de rigidité élémentaire	

### Introduction générale

La méthode des éléments finis est largement utilisée depuis, cette méthode numérique est basée essentiellement sur la résolution approchée des équations différentielles décrivant les phénomènes physiques dans tous les domaines de l'ingénierie, l'intégralité de la méthode est non seulement parce qu'elle peut réduire considérablement le coût de la conception, mais aussi parce qu'elle peut établir les phénomènes physiques complexes. Elle est devenue un outil de travail, de calcul et de conception quotidienne, pour faciliter aux ingénieurs à mieux comprendre les processus de déformation et de contrôler la qualité de produits.

Le principe de base de la MEF consiste à remplacer le domaine réel par un ensemble d'éléments discrets, qui peuvent être réunis de plusieurs manières, et employer pour représenter les formes les plus complexes. C'est une méthode très générale qui s'applique à la majorité des problèmes rencontrés dans la pratique, problèmes linéaires ou non linéaires, définis dans un domaine géométrique quelconque à une (1D), deux (2D) ou trois dimensions (3D). De plus, elle s'adapte très bien aux milieux hétérogènes souvent rencontrés dans la pratique par l'ingénieur [1].

Pour examiner ou démontrer la performance des nouveaux modèles éléments finis volumiques ou l'efficacité des nouvelles méthodes de résolutions des problèmes non linéaires, des cas tests sont souvent utilisés et les résultats sont comparés à des solutions de référence. La plupart des solutions de référence sont des solutions numériques dans le cas des solides 3D. Dans ce contexte, des cas tests sont évalués pour l'analyse non linéaire géométrique des solides 3D utilisant le code éléments finis ABAQUS [7].

Ce mémoire est présenté en quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré à rappeler les généralités de la méthode des éléments finis, Donne un aperçu sur les fondements et l'historique de cette méthode. Par ailleurs nous citons d'une part les avantages, les inconvénients et les caractéristiques de la méthode des élément finis comme nous avons donné un exemple pour chaque type.

Dans le deuxième chapitre on présente le logiciel ABAQUS les généralités à travers l'interface générale et les principaux modules disponibles.

Dans le troisième chapitre on a définie d'une manière générale les matériaux composites, En ce qui concerne la structure des matériaux composites monocouche en particulier.

Enfin, le quatrième chapitre regroupe les principaux résultats et données obtenus sur le comportement géométrique d'une structure monocouches sous une charge uniformément répartie sur la surface supérieure en utilisant l'environnement ABAQUS.

**Chapitre 01:**  
**GÉNÉRALITES SUR LA**  
**MÉTHODE**  
**DES ÉLÉMENTS FINIS**

## **GÉNÉRALITES SUR LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS**

### **1.1 Introduction :**

La méthode des éléments finis est une technique d'analyse numérique qui permet d'obtenir des solutions approchées dans une large variété de problèmes d'ingénieries. Tout au début cette méthode était développée pour étudier les structures complexes [1].

#### **1.1.1 Définitions de la méthode des éléments fini [1].**

La des éléments finis est une procédure numérique pour analyser les structures et les milieux continue. Habituellement le problème adressé est compliqué à résoudre d'une manière satisfaisante par des méthodes analytiques classiques.

Les problèmes qui étaient précédemment tout à fait insurmontables sont maintenant résolus par habitude. Les procédures des éléments finies sont employées dans la conception des bâtiments, des moteurs de chaleur de moteurs électriques, des fuselages des bateaux et du vaisseau spatial.

Le procédé de la méthode des éléments finis produit beaucoup d'équations algébriques simultanées, qui sont produites et résolues sur un calculateur numérique.

Les calculs des éléments finis sont exécutés sur l'ordinateur personnel. Cependant, les erreurs ont diminué en traitant plus d'équations. Et les résultats assez précis pour la technologie sont parcourables à un coût raisonnable.

La méthode des éléments finis a commencé comme méthode d'analyse des contraintes. Le problème peut concerner des analyses des contraintes, la conduction de la chaleur, Ou n'importe lequel de plusieurs autres secteurs.

Aujourd'hui les éléments finis sont également employés pour analyser des problèmes du transfert thermique, champs de lubrification de flux de fluide, électriques et magnétiques et beaucoup d'autres.

## 1.1.2 Historique [1], [2] :

Les bases théoriques de la méthode des éléments finis (M.E.F) repose d'une part sur la formulation énergétique de la mécanique des structures et d'autre part sur les méthodes d'approximations.

La M.E.F (Méthode des éléments finis) est mise au point en 1953 chez Boeing (Seattle, USA, calcul des structures d'ailes d'avion), on y développe le premier élément fini, sa matrice de rigidité, l'assemblage et la résolution par la méthode des déplacements (publié par Turner, Clough, Martin et Topp en 1956).

Quant aux bases théoriques générales, alliant l'analyse des structures en barres et poutres avec celle des solides, elles sont étudiées de 1954 à 1960 (Argyris, Kelsey) certaines idées apparurent auparavant, en particulier chez les mathématiciens pour résoudre divers problèmes aux limites par exemple celui de la torsion de Saint Venant en divisant la section en triangles, mais elles restèrent sans suite.

L'expression élément finie a été inventée par Slough en 1960. Années 60, la MEF s'attaque à tous les domaines du calcul de structures.

Des programmes on trouve, la MEF, principalement dans le domaine de la mécanique des solides et des structures.

Ont été conçus pour être exécutés sur de gros ordinateurs tels que : ABAQUS, SAP2000, CATIA, FORTRAN, etc.

La crédibilité des résultats obtenus va permettre l'utilisation de la méthode des éléments finis par des entreprises et des bureaux d'études de taille réduite.

C'est évidemment l'apparition d'ordinateurs puissants qui a permis le développement de la simulation numérique.

## **1.1.2 Avantages et inconvénients de la MEF [1], [3] :**

Toutes les méthodes permettant de résoudre des problèmes aux limites de manière approximative (séries, différences finies...) la méthode des éléments finis présente de tels avantages qu'elle est la plus utilisée (parfois même exagérément) sauf cas particuliers.

### **1.1.3.1 Les Avantages de la MEF :**

- La puissance de la méthode des éléments finis réside essentiellement dans sa généralité et sa souplesse. Et toute cette généralité est contenue dans un programme unique qu'on peut faire tourner sur un ordinateur (sélection du type de problème, de la géométrie, du type d'élément, des chargements et des conditions aux limites).
- La maillage peut combiner autant de types d'éléments que l'on souhaite. Elle peut être applicable à une variété de problèmes mécanique ou bien physiques. la géométrie du domaine peut être quelconque, les forces et les conditions aux limites peuvent être aussi de nature quelconque.
- La méthode des éléments finis réside dans le fait que le modèle qu'elle utilise est très proche de la structure réelle.

### **1.1.3.2 Les Inconvénients de la MEF :**

- La méthode des éléments finis a néanmoins quelques inconvénients. Elle donne un résultat numérique particulier pour un problème spécifique. Elle ne fournit aucune forme de solution susceptible de permettre une étude analytique de l'effet d'un changement de paramètre par exemple.
- Un ordinateur, un programme fiable et une utilisation intelligente sont nécessaires.
- Les programmes généraux de calcul doivent être fortement documentés.



## 1.2 Etapes de la méthode des éléments finis [1], [2]:

Dans diverses applications précitées, les éléments finis perdent leur signification physique d'éléments structuraux : la méthode des éléments finis est considérée comme un outil de mathématiques appliquées destiné à résoudre les équations différentielles.

Les principales étapes de construction d'un modèle éléments finis, qui sont détaillées par la suite, sont les suivantes :

- Discrétisation du milieu continu en sous domaines. (Figure 1.2).
- Construction de l'approximation nodale par sous domaine.
- Calcul des matrices élémentaires correspondant à la forme intégrale du problème.
- Assemblage des matrices élémentaires.
- Prise en compte des conditions aux limites.
- Résolution du système d'équations.
- introduction des conditions aux limites essentielles et résolution ;
- Évaluation, dans chaque élément, des grandeurs utiles (contraintes, déplacements...).
- Jugement de manière critique les résultats obtenus.

## 1.3 Caractéristiques d'un élément fini [1], [3]:

### 1.3.1 Les nœuds géométriques :

Nous choisissons un ensemble de  $n$  points, sur le domaine  $V$ , qui servira à définir la géométrie des éléments. Ces points, appelés **les nœuds géométriques**, Elle coïncident éventuellement avec les nœuds d'interpolation. Puis nous remplaçons le domaine  $V$  par un ensemble de domaines  $V_e$  de formes relativement simples. (Voir figure 1.1).

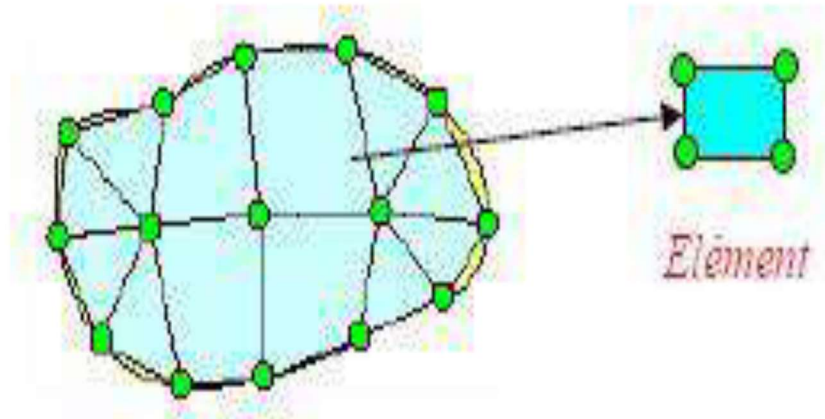


Figure 1.1 : domaine V discrétisé par sous domaine  $V_e$ .

### 1.3.2 Attributs d'un élément fini :

Un découpage artificiel (par l'imagination) d'un milieu continu en éléments finis permet d'isoler un de ces éléments pour l'étudier et établir les caractéristiques. L'identification d'un élément fini comprend les points suivants :

- **Géométrie** : un élément fini peut être un segment de droite ou de courbe, triangulaire ou quadrilatère (plan ou courbe), tétraèdre, prismes ou hexaèdre (brique). Les frontières entre les éléments peuvent être respectivement des points, des segments de droite ou de courbe, des faces planes ou courbes.
- **Matériau** : le matériau de l'élément est défini par une loi de comportement (loi de Hooke isotrope...etc).
- **Nœuds** : les nœuds définissent la géométrie et assurent la connectivité des éléments les uns aux autres, ils occupent les sommets, les milieux des arêtes et faces, selon le type de l'élément et la théorie adaptée.
- **Degrés de liberté** : la fonction d'approximation (ex : le champ de déplacements) est exprimée en fonction des valeurs particulières qu'elles prennent aux nœuds, valeurs qui deviennent les inconnues nodales. L'union, par leurs degrés de nœuds communs des

## Chapitre 01: Généralité Sur la méthode des éléments finis

différents éléments adjacents, permet de reconstituer la solution complète (assemblage) tout en veillant à respecter certaines règles, dites critères de convergence.

- **Forces nodales** : à travers les nœuds transitent des forces associées aux degrés de liberté. Elles sont dues aux charges appliquées à l'élément (poids propre, charge uniforme, température...etc).

Ces paramètres d'identification permettent de construire les deux caractéristiques clés d'un élément fini qui sont sa matrice de rigidité et son vecteur force.

### 1.3.3 Concept de la méthode des éléments finis [2]:

Le concept de base de la méthode des éléments finis est la subdivision du modèle mathématique à des composants disjoints de géométrie simple appelés (Éléments finis), le comportement de chaque élément est exprimé en terme d'un nombre fini de degrés de liberté, le comportement (réponse) du modèle mathématique est considéré, approximativement, celui du modèle discret obtenu par connexion ou assemblage des éléments

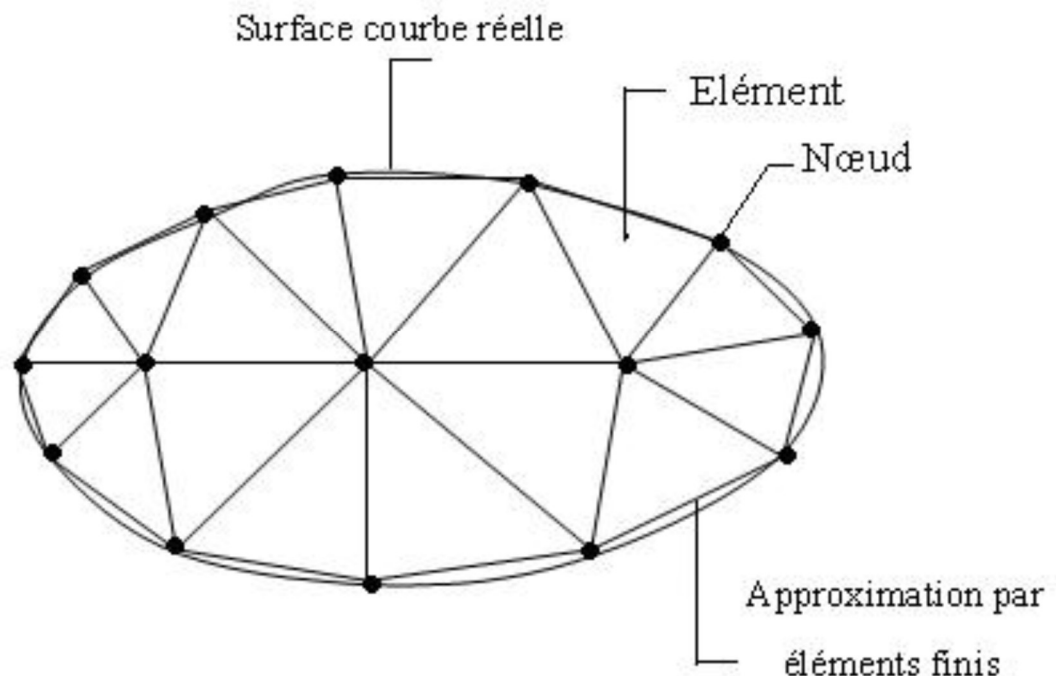


Figure 1.2 : Maillage du domaine en triangles à trois nœuds.

### 1.3.4 Type des éléments finis [1], [3]:

La sélection de l'élément sera fonction du type de problème à résoudre, généralement.

Ils sont groupés en quatre classes :




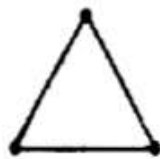


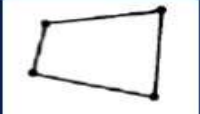


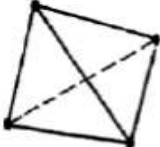

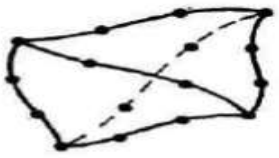
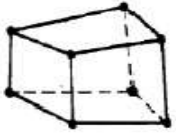
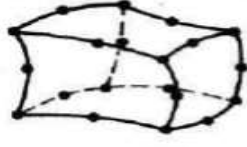




- 1- les déplacements et les déformations planes.
- 2- la flexion des plaques.
- 3- les coques.
- 4- l'analyse des solides (3D).

On peut classer, les différents types d'éléments finis suivant leur géométrie (Tableau 1.1) comme suit :

- **Les éléments unidimensionnels (1D)** : barres, poutres rectilignes ou courbes utilisées de façon individuelle ou associées à des plaques pour modéliser les raidisseurs dans un voile.
- **Les éléments bidimensionnels (2D)** : élasticité plane (déformation ou contraint) on plaque en flexion, coques courbes, de forme triangulaire ou quadrangulaire.
- **Les éléments tridimensionnels (3D)** : éléments de volume ou coques épaisses.
- **Les éléments axisymétriques** : qui constituent une classe bien particulière : toutes à section triangulaire ou quadrangulaire, coques conique ou méridienne courbe, (éléments de volume ou coques épaisses).

# Chapitre 01: Généralité Sur la méthode des éléments finis

Tableau 1.1 : les types d'éléments finis.

Elements	Linéaires	paraboliques (quadratiques)	cubiques
Unidimensionnels	 linéaire (2)	 quadratique (3)	 cubique (4)
Bidimensionnels Triangulaires	 linéaire (3)	 quadratique (6)	 cubique (9)
Bidimensionnels quadrilatéraux	 linéaire (4)	 quadratique (8)	 cubique (12)
Tridimensionnel Tétraédriques et hexaédriques	 linéaire (4)	 quadratique (10)	 cubique (16)
	 linéaire (8)	 quadratique (20)	 cubique (32)
autres types	 Masse	 Ressort	 Contact

### **1.3.5 Choix des éléments finis [1]:**

Les éléments doivent s'adapter à la nature du problème à traiter, c'est-à-dire respecter les hypothèses et se conformer aux caractéristiques de la modélisation certains programmes offrent un choix très vaste, d'autres très limité.

Il convient donc de passer en revue les particularités essentielles des éléments disponibles :

- Modèle (déplacement, équilibre, mixte, ...).
- Nœuds, et inconnues aux divers nœuds.
- Convergence (critères et taux).
- Degré (des divers champs).
- Compatibilité des éléments les uns avec les autres.
- Performances et limitations.

### **1.3.6 Qualité d'un élément fini [3]:**

Un bon élément fini doit réunir les propriétés suivantes :

- Aucun défaut de base (mécanisme...).
- Convergence rapide.
- Bonne précision, déjà dans un maillage grossier.
- Vecteurs forces consistants.
- Connexion (conforme) possible avec d'autres modèles.
- Qualités de convergence et précision conservée pour une distorsion raisonnable.

## 1.4 Principes de la MEF [4].

La M.E.F est basée sur une idée simple qui consiste à subdiviser (discrétiser) une forme complexe en un grand nombre de sous-domaines élémentaires de formes géométriques simples (éléments finis) interconnectés en des points appelés nœud:

- Nous considérons le comportement mécanique de chaque élément séparément, puis nous assemblons ces éléments de telle façon que l'équilibre des forces et la compatibilité des déplacements soient satisfaits en chaque nœud.
- La MEF utilise des approximations simples des variables inconnues dans chaque élément pour transformer les équations aux dérivées partielles en équations algébriques.
- Les nœuds et les éléments n'ont pas forcément de signification physique particulière, mais sont basés sur des considérations de précision de l'approximation.

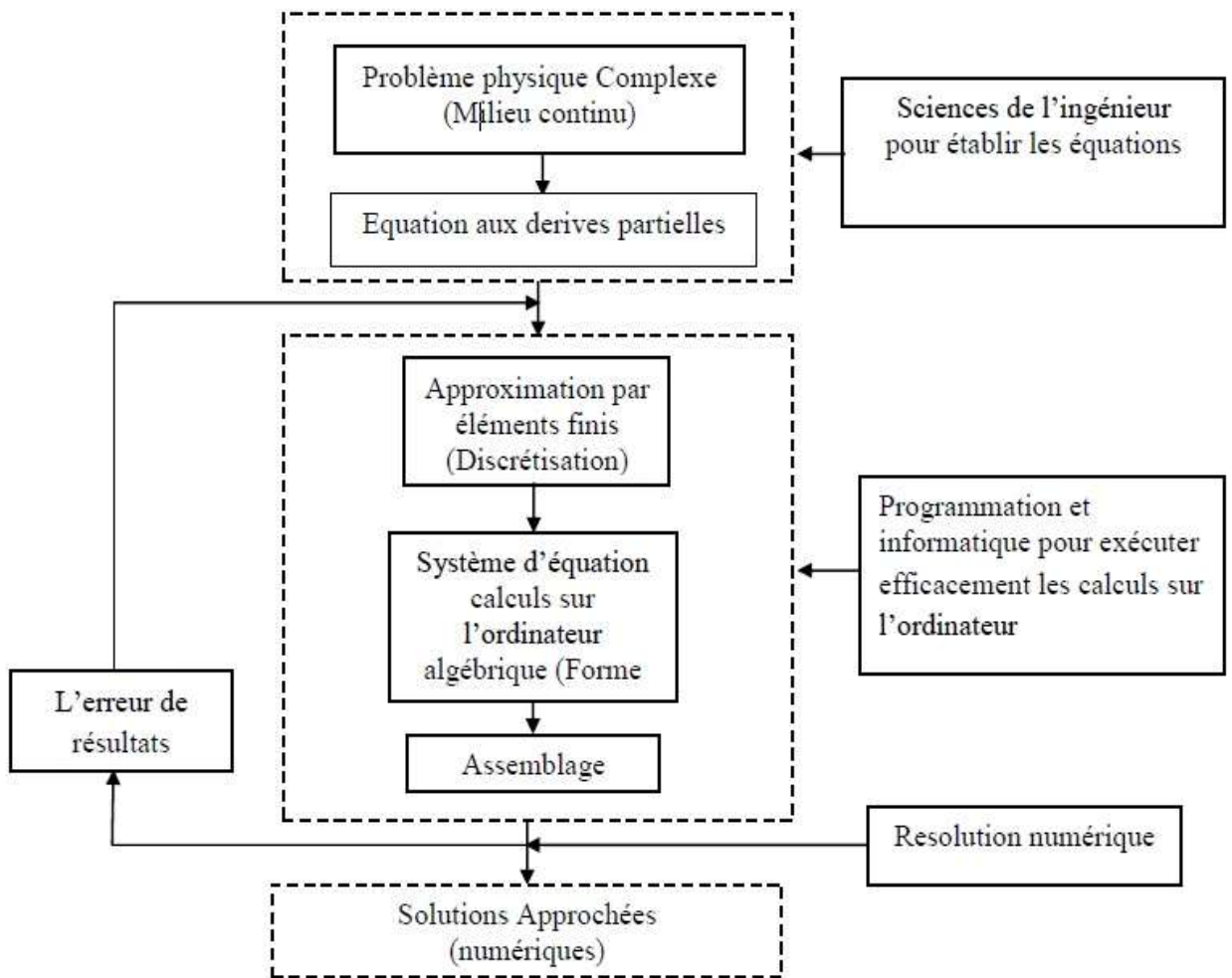


Figure 1.3 : principe d'analyse par la MEF [1].

### **1.5 Les différents types de modèles d'un EF [1] :**

Le plus souvent, le champ interpolé est celui des déplacements, et il est rarement celui des déformations ou des contraintes.

Ces interpolations portent sur tout l'élément ou une partie de celui-ci, à l'intérieur ou à la frontière. On peut créer divers types, dits « modèles » d'éléments finis selon la combinaison choisie comme.

#### **1.5.1 Modèle déplacement :**

Ce modèle est le plus populaire, le plus connu et le plus développé.

Dans cette catégorie, les éléments finis sont basés sur une interpolation du champ des déplacements, étendu à tout l'élément.

Alors, les déplacements sont déterminés de manière détaillée et unique dans la structure, donc les contraintes ne peuvent être connues que par certaines moyennes et ne sont pas continués aux frontières.

#### **1.5.2 Modèle mixte :**

Ce modèle est basé sur des approximations indépendantes des divers champs inconnus (déplacements, déformations, contraintes), étendues à tout l'élément.

En général, les paramètres inconnus des champs de ce modèle sont conservés comme degrés de liberté.

La mise au point peut être longue et coûteuse, mais les éléments peuvent être d'excellente qualité.

Parfois le modèle mixte est utilisé pour corriger certains défauts du modèle déplacement, par exemple pour améliorer la précision au niveau des contraintes on interpole certaines composantes internes de la déformation, les paramètres correspondants peuvent alors être éliminés par condensation, de telle sorte que l'élément reprend l'aspect d'un modèle déplacement.

#### **1.5.3 Modèle équilibre ou contrainte :**

Contrairement au précédent, un tel élément est construit à partir d'une approximation du seul champ des contraintes. La connaissance des contraintes est alors détaillée, celle des déplacements est par contre sommaires. Ce modèle est rarement employé en pratique car, il conduit en général à qualité égale à un plus grand nombre d'inconnues que le modèle déplacement.



## 1.5.4 Modèle hybride :

Ce modèle est basé sur deux interpolations a priori indépendantes, l'une portant sur un champ à l'intérieur de l'élément, l'autre sur un champ touchant la seule frontière.

Le critère variationnel utilisé est une variante de l'énergie potentielle complémentaire. Le modèle hybride fournit d'ordinaire de meilleurs résultats que le modèle déplacement, surtout au niveau des contraintes.

## 1.5.5 Modèle en déformation :

Ce modèle présente une approximation qui se fait sur le champ de déformation, puis on intègre pour retrouver le champ de déplacement de telle sorte que les équations d'équilibres et de compatibilité soient satisfaites à l'intérieur de l'élément.

## 1.6 Domaines d'application de la MEF [5]:

- analyse linéaire (statique et dynamique).
- Modélisation des structures.
- mécanique des fluides.
- Electromagnétisme.
- analyse non linéaire (grands déplacements et rotations, grandes déformations, contact et frottement, flambage, ...).
- mise en forme des matériaux thermique (en régime permanent et transitoire...).
- dynamique rapide (choc, impact, crash).
- optimisation des structures.

## 1.7 Étapes logiques du calcul par éléments finis [1]:

Définir les nœuds et les propriétés des élément (Créer le maillage) :

- Pour chaque élément, établir la matrice de rigidité élémentaire  $[K_e]$ .
- reliant les degrés de libertés (déplacements) nodaux  $\{U\}$  et les forces  $\{F_e\}$  appliquées aux nœuds :  $[K_e] \{U_e\} = \{F_e\}$ .

- Assembler les matrices et les vecteurs élémentaires en un système global.  $[K] \{U\} = \{F\}$  de manière à satisfaire les conditions d'équilibre aux nœuds.
- Modifier le système global en tenant compte des conditions aux Limites.
- Résoudre le système  $[K] \{U\} = \{F\}$  et obtenir les déplacements  $\{U\}$  aux nœuds.
- Calculer les gradients (flux de chaleur, déformations et contraintes) dans les éléments et les réactions aux nœuds sur lesquels les conditions aux limites sont Imposées.

### 1.8 Utilisation d'un Logiciel élément fini [1] :

Un programme général de type industriel doit être capable de résoudre des problèmes Variés de grandes tailles (de mille à quelques centaines de milliers de variables). Ces Programmes complexes nécessitent un travail d'approche non négligeable avant d'espérer Pouvoir traiter un problème réel de façon correcte. Citons à titre d'exemple quelques noms de Logiciels: NASTRAN, ANSYS, ADINA, ABAQUS, CASTEM 2000, CESAR, FORTRAN, etc...

Les possibilités offertes par de tels programmes sont nombreuses :

- Prise en compte de phénomènes divers (élasticité, thermiques, électromagnétiques, de plasticité, d'écoulement, etc. ...) pouvant être couplés.
- Problèmes d'optimisation.
- Ils ne cessent de se développer !
- Prise en compte de lois de comportement complexes.
- Analyse statique ou dynamique.
- Analyse linéaire ou non d'un système physique continu.

L'utilisation de tels programmes nécessite une formation de base minimum, suivie d'applications pratiques sur des problèmes simples.

Voyons tout d'abord comment se déroule une étude basée sur l'utilisation d'un logiciel éléments finis.

### **1.9 Conclusion :**

Aujourd'hui, la méthode des éléments finis est une technique récente à caractère pluridisciplinaire, car elle met en œuvre les connaissances de trois disciplines de base : la mécanique des structures, l'analyse numérique et l'informatique appliquée.

Notre objet dans ce chapitre est de donner un aperçu sur la méthode des éléments finis.

**Chapitre 02 :**  
**PRESENTATION**  
**DE L'OUTIL**  
**INFORMATIQUE**

## **PRESENTATION DE L'OUTIL INFORMATIQUE**

### **2.1 Introduction :**

ABAQUS/CAE™ est un code de calcul qui résout les problèmes de divers champs par la technique des éléments finis (M.E.F). Dans ce cadre il présente un système complet intégrant non seulement les fonctions de calculs proprement dites mais également les fonctions de construction du modèle et les fonctions de traitement des résultats ABAQUS/CAE™ [6].

**ABAQUS** est un code de calcul par la méthode des éléments finis créé en 1978. Il est avant tout un logiciel de modélisation de problèmes très variés en mécanique. Simuler la réponse physique des structures soumises à des chargements, des températures, des impacts ou autres conditions extérieures, Il est connu et répandu, en particulier pour ses traitements performants des problèmes linéaires et problèmes non linéaires.

Dans ce chapitre, on va présenter en bref, le logiciel numériques l'**ABAQUS** qui est considéré parmi des logiciels de calcul par éléments finis les très puissants pour résolutions des problèmes linière et non linéaires [1].

### **2.2 Définition de l'ABAQUS [7]:**

ABAQUS compose de trois produits : ABAQUS/Standard, ABAQUS/Explicit et ABAQUS/CAE, figure 2.1

#### **2.2.1. ABAQUS/Standard**

ABAQUS Est un solveur généraliste qui recourt à un schéma traditionnel d'intégration Implicite:

- Problèmes linéaires et non linéaires Géométrie 1D, 2D, 3D et Axisymétrique.
- Nombreuses procédures d'analyse dans le domaine temporel et fréquentiel.
- Résolution basée sur l'algorithme de Newton-Raphson et la méthode de Riks.

2.2.2. ABAQUS/Explicit

ABAQUS/ Explicite Un schéma d'intégration explicite pour résoudre des problèmes dynamique ou quasi-statiques non-linéaires.

- Problème transitoire et dynamique des structures.
- Résolution basée sur la méthode explicite d'intégration en temps.
- Analyse non linéaire (discrétisation spatiale et temporelle).

2.2.3. ABAQUS/CAE

ABAQUS /CAE Constitue une interface intégrée de visualisation et de modélisation pour lesdits solveurs. Chacun de ces produits est complété par des modules additionnels et optionnels, spécifiques à certaines applications.

ABAQUS fut d'abord conçu pour analyser les comportements non-linéaires. Il possède en conséquence une vaste gamme de modèles de matériau. Ses modélisations d'élastomères, en particulier, méritent d'être reconnues.

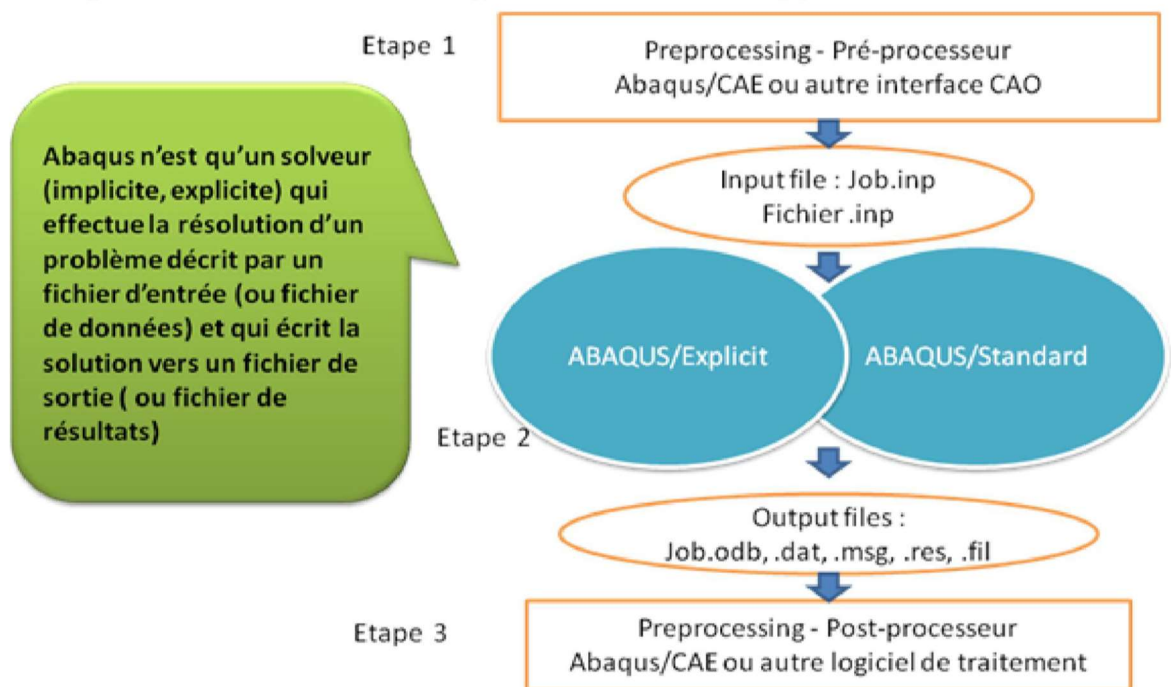


Figure 2.1 : Structure d'une analyse sous Abaqus

**2.3 Système d'unités dans le code de calcul ABAQUS [6] :**

Comme dans beaucoup de logiciels, il n'y a pas de système d'unités fixé. C'est à l'utilisateur de définir son propre système (Tableau 2.1).

**Tableau 2.1 :** Système d'unités pour la programmation

<b>Grandeur</b>	<b>SI</b>	<b>SI (mm)</b>	<b>US Unite (ft)</b>	<b>US Unite (inch)</b>
<b>Longueur</b>	m	Mm	ft	in
<b>Force</b>	N	N	lbf	lbf
<b>Masse</b>	Kg	Ton ( $10^3$ Kg)	Slug	lbf S <sup>2</sup> /in
<b>Temps</b>	S	S	S	S
<b>Stress</b>	Pa (N/m <sup>2</sup> )	MPa (N/m <sup>2</sup> )	lbf/ft <sup>2</sup>	Psi (lbf/in <sup>2</sup> )
<b>Energie</b>	J	mJ ( $10^{-3}$ J)	Ft lbf	In lbf
<b>Densité</b>	Kg/m <sup>3</sup>	Ton/mm <sup>3</sup>	Slug/ft <sup>3</sup>	lbf S <sup>2</sup> /in <sup>4</sup>

Le tableau présente les différentes unités pour la résolution d'un problème mécanique avec le code ABAQUS.

**2.3.1 Caractéristiques de logiciel ABAQUS [1]:**

Description succincte des possibilités d'ABAQUS.

- Analyses.
- Éléments.
- Linéarités.

**2.3.2 Type d'analyse :**

Domaines physiques :

- Mécanique.
- Problèmes couplés.
- Electrique (Pièze et thermique).
- Thermique.
- Une bibliothèque de matériaux de pointe, y compris l'habituel élastique et solides plastique, élastique; modèles pour les mousses, le béton, les sols, les géo synthétiques.

Problèmes :

- Dynamique des corps rigides.
- Linéaires et non linéaires.
- Statique et dynamique.

**2.4 Les éléments utilisés par ABAQUS [6] :**

- ❖ Un très large choix d'éléments (plus de 100).
- ❖ Chaque élément est caractérisé par : famille, ddl, nombre de nœuds, intégration.
- ❖ Possibilités de programmer de nouveaux éléments (sur ABAQUS/Standard)

On distingue différentes grandes classes d'éléments [1]:

- **Les éléments unidimensionnels (1D)** : barre; poutre, rectiligne ou courbe
- **Les éléments bidimensionnels (2D)** : élasticité plane (contrainte ou déformation plane), plaques en flexion, coques courbes de forme triangulaire ou rectangulaire.
- **les éléments tridimensionnels (3D)** : de forme tétraédrique, hexaédrique...etc.
- **les éléments axisymétriques** : (pour les pièces présentant une symétrie de révolution au niveau de la géométrie et du chargement).
- **les autres éléments** : ressorts, amortisseurs, rigides.



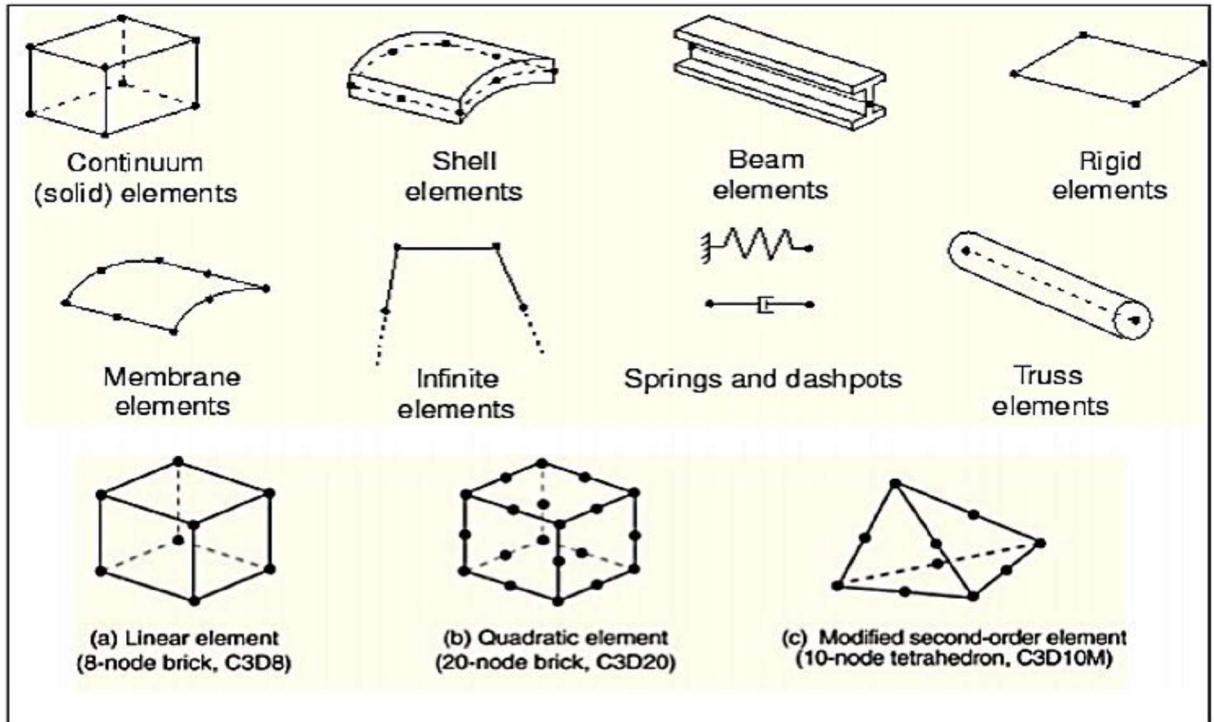
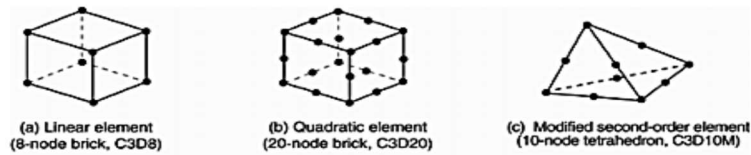


Figure 2.2 : Quelques éléments dans Abaqus.

Nombre de nœuds — ordre d'interpolation:

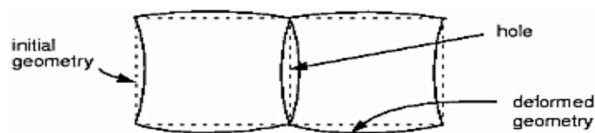


Types d'intégration:

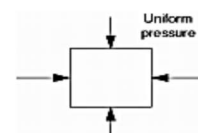


Intégration complète

Intégration réduite



Mode incompatible (flexion)



Hybride (milieu incompressible)

Figure 2.3 : Les types d'intégrations et le nombre de nœuds.

## 2.5 Organisation de l'interface Abaqus CAE.

Il est important de savoir que le module CAE figure 2.4 que vous allez utiliser pour créer votre jeu de données est relativement récent (quelques années) et qu'il est plutôt destiné à la mise en données de problèmes relativement classiques.

Donc pas toutes les commandes utilisables dans Abaqus et fait souvent le choix de Paramètres par défaut [7].

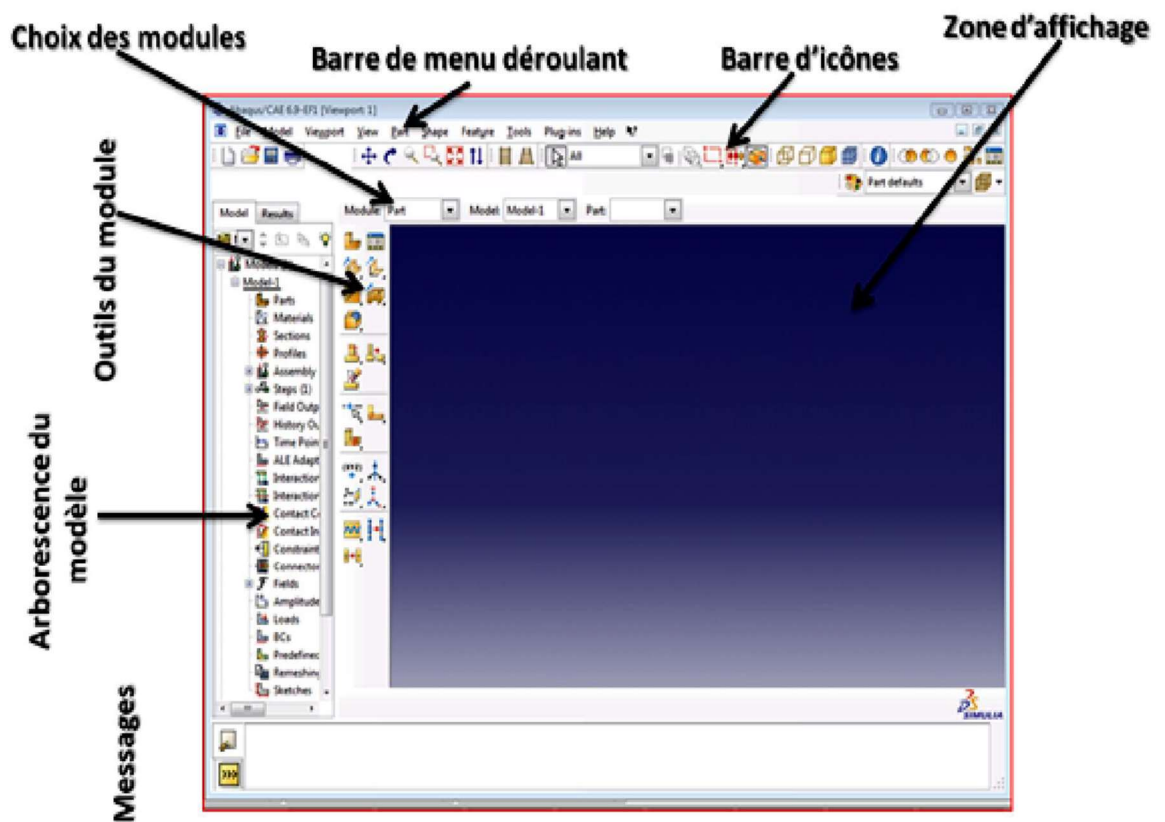


Figure 2.4 : Organisation d'ABAQUS [6].

## 2.6 Les modules [8].

ABAQUS CAE est divisé en unités fonctionnelles appelées modules. Chaque module contient les outils qui sont propres à une partie de la tâche de modélisation., figure 2.5.

- **Module Part**
- **Module Property**
- **Module Assembly**
- **Module Step**
- **Module Interaction**
- **Module Load**
- **Module Mesh**
- **Module Job**
- **Module Visualization**
- **Module Sketch**

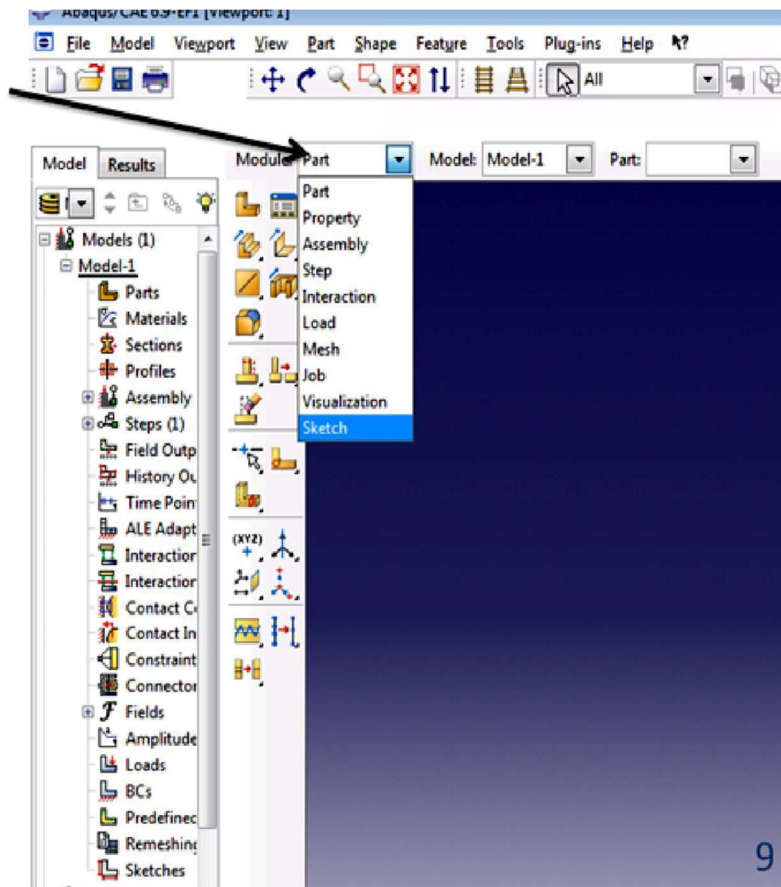


Figure 2.5 : Réalisation de la mise en données d'un problème [6].

### Le module « PART ».

Le module Part permet de créer tous les objets géométriques nécessaires à notre problème, soit en les dessinant dans ABAQUS CAE, soit en les important d'un logiciel de dessin tiers.

### Le module « PROPERTY ».

Le module propriété permet, comme son nom l'indique, de définir toutes les propriétés d'un objet géométrique ou d'une partie de ces objets.

### Le module « ASSEMBLY ».

Ce module permet d'assembler les différents objets géométriques créés dans un même repère de coordonnées global. Un modèle ABAQUS contient un seul assemblage.

**Le module « STEP ».**

Ce module permet de définir toutes les étapes et les requêtes pour le post traitement, c'est à dire le moment (temps) à partir duquel une force est appliquée et jusqu'à quand, il est aussi possible de créer des forces ou des conditions limites qui s'activent à des moments donnés.

**Le module « INTERACTION ».**

Grâce ce module, il est possible de spécifier toutes les interactions entre les différentes parties et régions du modèle, qu'elles soient mécaniques, thermiques ou autres. Il faut savoir qu'ABAQUS ne prend en compte que les interactions explicitement définies, la proximité géométrique n'étant pas suffisante.

**Le module « LOAD ».**

Le module load permet de spécifier tous les chargements, conditions limites et champs. Il faut savoir que les chargements et le conditions limites sont dépendants des steps, par exemple une force est appliquée au step 1 mais inactive au step 2.

**Le module « MESH ».**

Ce module contient tous les outils nécessaires pour générer un maillage élément fini sur un assemblage.

**Le module « JOB ».**

Une fois que toutes les tâches de définition du modèle ont été réalisées, il faut utiliser le module Job pour analyser ce modèle. ABAQUS va alors réaliser tous les calculs nécessaires et en tirer des résultats.

**Le module « VISUALIZATION ».**

Ce module permet de visualiser le modèle et les résultats, les courbes de charges, les déformations...

**Le module « SKETCH ».**

Ce module permet de créer des formes bidimensionnelles qui ne sont pas associés à un objet. Il peut être utilisé pour des extrusions par exemple.

**2.7 Les différents fichiers pour la simulation sous ABAQUS [7] :****2.7.1 Fichier d'entrée (Input file) :**

❖ **Extension .inp** : contient des mots clés décrivant la géométrie, les matériaux, les Conditions limites et les chargements de la structure étudiée.

❖ **Génération du fichier .inp** :

- Avec un éditeur (fichier texte) ou programme en connaissant les divers mots clés de commande ABAQUS.
- Avec l'interface graphique ABAQUS/CAE.

**2.7.2 Fichier de résultats (output file) :**

❖ **Extension .odb** : Contient les contours et courbes de résultats.

**2.7.3 Autres fichiers créés par ABAQUS lors de la simulation :**

- Fichier **.com** : exécutable de vos calculs.
- Fichier **.log** : fichier de procédure.
- Fichier **.msg** : résumé du déroulement du calcul en cours, message d'erreur.
- Fichier **.dat** : liste des résultats, résumé de votre modélisation.
- Fichier **.res** : fichier binaire de reprise.
- Fichier **.fil** : fichier binaire des résultats.
- Fichier **.sta** : Fichier statistique ... etc.

**2.8. Types d'élément [9]:**

L'élément de brique à huit nœuds (C3D8 et C3D8R)

2.8.1. L'élément C3D8:

Est un élément linéaire standard à 8 nœuds avec 8 points d'intégration.

Cet élément standard est beaucoup trop rigide; les déplacements représentent environ 50% des valeurs de la solution de coque dans chaque cas.

L'élément C3D8 est un élément de brique linéaire universel Entièrement intégré (point d'intégration 2x2x2). La fonction de forme peut être trouvée. La numérotation des nœuds suit la convention de la figure 2.6, et les points sont numérotés selon la figure 2.6.

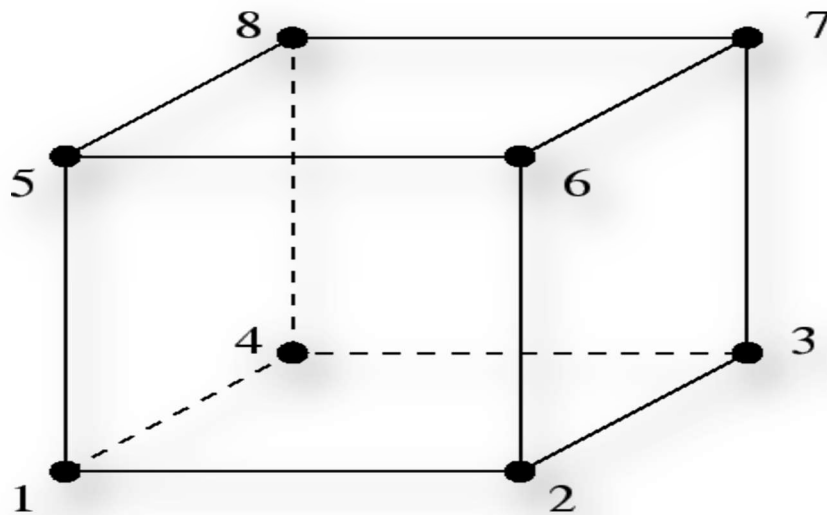


Figure 2.6 : Élément de brique à 8 nœuds

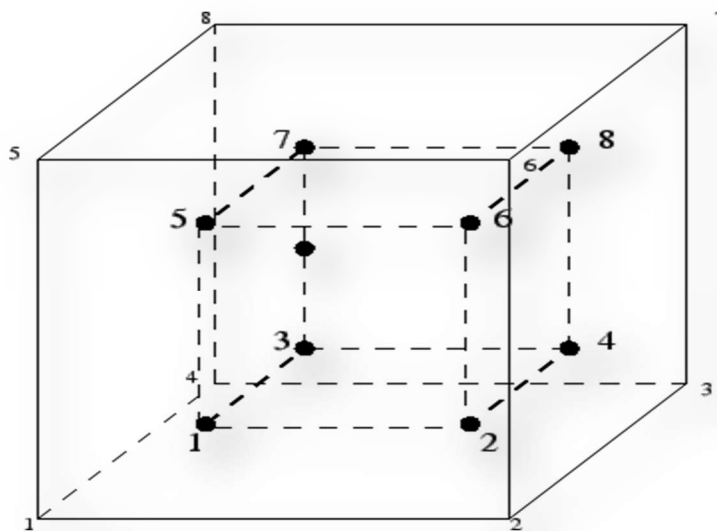
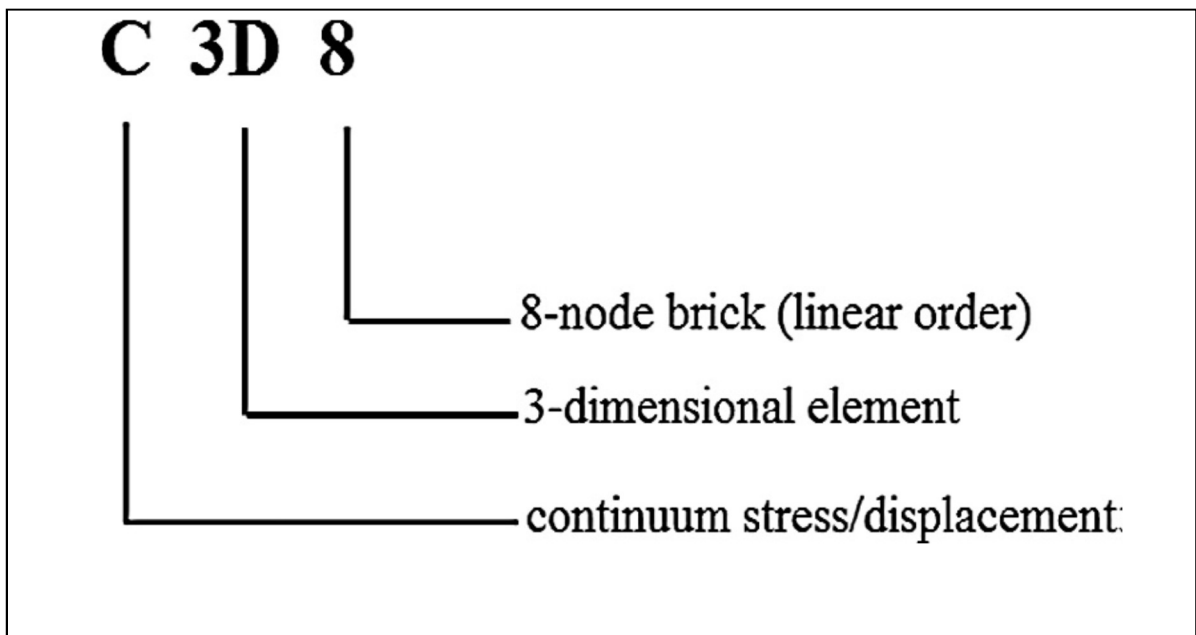


Figure 2.7: Point d'intégration 2x2x2 schéma en éléments hexaédrique

Bien que la structure des éléments soit simple, elle ne doit pas être utilisée dans les situations suivantes :

- Du fait de l'intégration complète, cet élément aura un effet néfaste sur les performances du matériau à vitesse constante, c'est-à-dire pour la valeur élevée du coefficient de Poisson ou du comportement plastique.
- l'élément a tendance à être trop rigide en flexion, par ex. pour poutres élancées ou plaques minces en flexion.



**Figure 2.8 :** Nom de l'élément (C3D8) de maillage solide Continuum dans Abaqus.

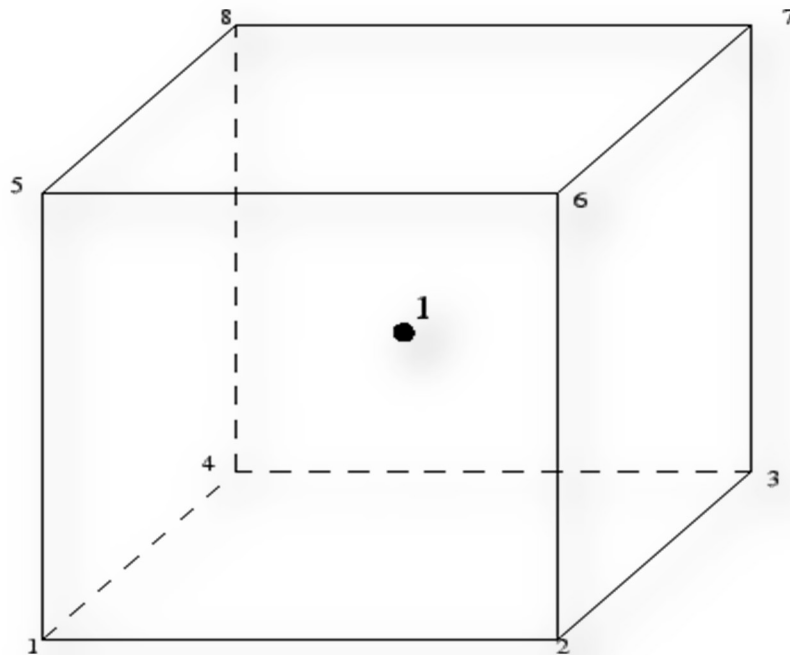
### 2.8.2. L'élément C3D8R :

Est un élément hexaédrique à 8 nœuds avec 1 point d'intégration et un contrôle de sablier. Il utilise la méthode de rigidité artificielle de Flanagan et Belytschko.

Les résultats ne sont pas bons même pour une analyse linéaire. La précision dégrade gravement dans les analyses non linéaires. Nous n'avons pas tenté de "régler" le paramètre de sablier pour ce modèle.

L'élément a tendance à être trop rigide en flexion, par ex. pour poutres élancées ou plaques minces en flexion.

L'élément C3D8R est un élément de brique linéaire à usage général, avec une intégration réduite (1 point d'intégration). Les fonctions de forme sont les mêmes que pour l'élément C3D8. La numérotation des nœuds suit la convention de la figure 2.8 et le point d'intégration est représenté sur la figure 2.9.



**Figure 2.9:** Schéma de points d'intégration 1x1x1 dans les éléments hexaédriques.

En raison de l'intégration réduite, les phénomènes de verrouillage observés dans l'élément C3D8. Ne se manifestent pas, Cependant l'élément présente d'autres lacunes:

- L'élément a tendance à ne pas être assez rigide en flexion.
- Les contraintes, déformations .. sont les plus précises dans les points d'intégration. Le point d'intégration de l'élément C3D8R est situé au milieu de l'élément. Ainsi, de petits éléments sont nécessaires pour capturer une concentration de contraintes à la limite d'une structure.
- Il existe 12 modes à énergie nulle parasites conduisant à un sablage massif: cela signifie que la solution correcte se superpose à des déplacements arbitrairement grands correspondant aux modes à énergie nulle. Ainsi, les déplacements sont complètement faux. Puisque les modes.



d'énergie nulle n'entraînent aucune contrainte, le champ de contrainte est toujours correct. En pratique, l'élément C3D8R n'est pas très utile sans contrôle de sablier. À partir de la version 2.3, le contrôle du sablier est automatiquement activé pour cet élément, atténuant ainsi ce problème.

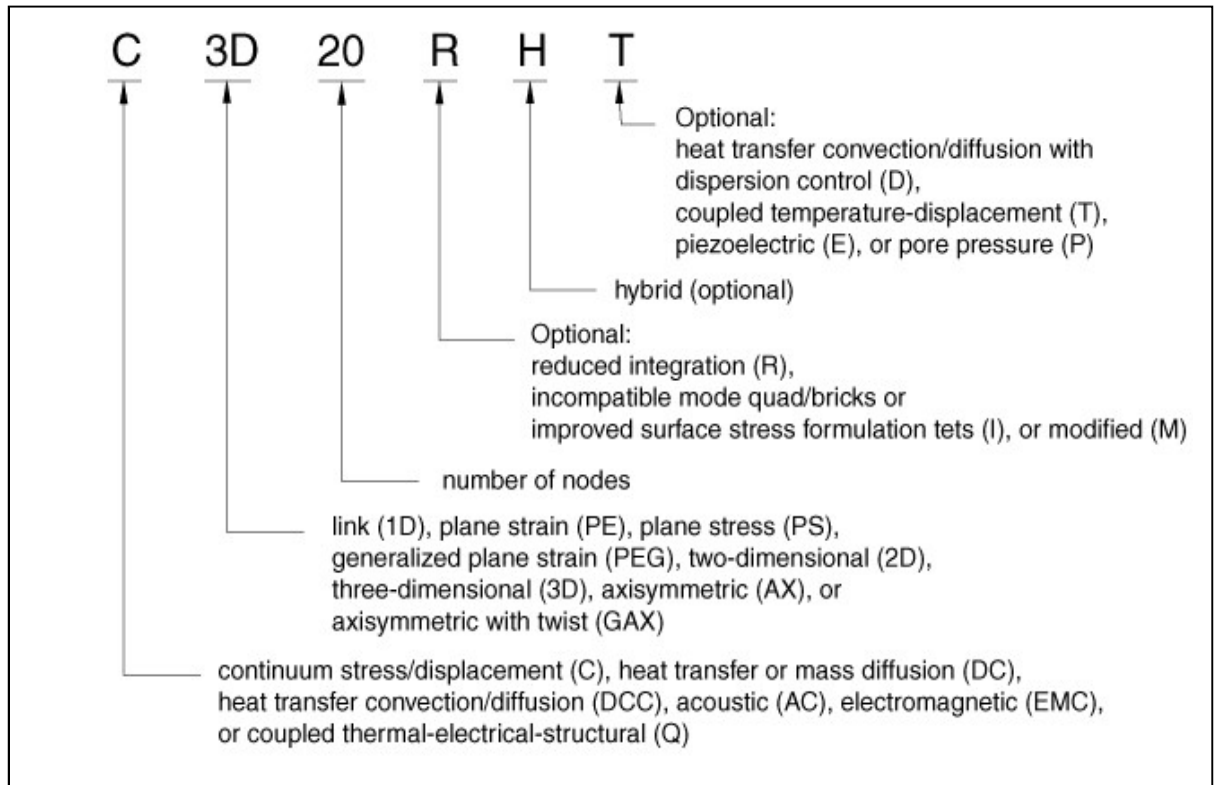


Figure 2.10 : Nom de l'élément (C3D8R) de maillage solide Continuum dans Abaqus.

## 2.9 Conclusion :

La programmation efficace de la méthode des éléments finis requiert une bonne expérience tant dans le domaine des éléments finis que dans le domaine de l'informatique.

Dans le présent chapitre, un logiciel majeur a été bien détaillés L'ABAQUS, avec les pas de fonctionnement. Nous a permis de prendre une idée détaillée sur le calcul par élément finis.

Dans ce travail on choisie l'élément C3D8R pour modéliser du structure poutre encastrée le que nous permet d'obtenir de résultats approchées.

**Chapitre 03 :**

**Matériaux composites,**

**notions et définitions**

### **3.1. Introduction :**

Le mot composé dans le terme matière composite signifie que deux matériaux ou plus sont combinés sur une échelle macroscopique pour former un troisième matériel utile. La clef est l'examen macroscopique du matériel où les composants peuvent être identifiés par l'œil nu. Différents matériaux peuvent être combinés sur une échelle microscopique, comme dans l'alliage des métaux, mais le matériel résultant est, pour tous les buts pratiques, macroscopiquement homogène, c.-à-d., les composants ne peuvent pas être distingués par l'œil nu et essentiellement agir ensemble [10].

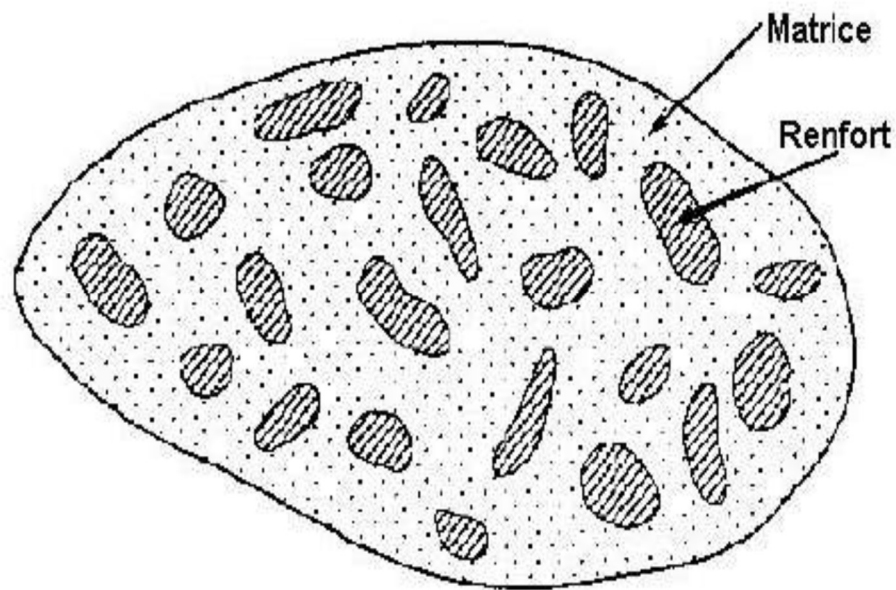
L'avantage de l'utilisation d'un matériau composite s'il est bien conçu, est qu'il possède des propriétés supérieures à celle des éléments qui le constituent. Parmi les propriétés améliorées en formant les matériaux composites on peut citer : résistance, rigidité résistance à la corrosion légèreté, résistance au vieillissement...etc.

Toutes ces propriétés ne peuvent être améliorées en même temps, car l'ensemble ne peut plus être une obligation pour être réalisé, et en réalité certaines entre elles se contredisent, comme la conductivité thermique et l'isolation thermique. L'objectif tout simplement est d'élaborer un matériau ayant les caractéristiques nécessaires pour accomplir la tâche de conception [11].

### **3.2. Définition d'un matériau composite:**

Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux matériaux de natures différentes, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont les performances sont supérieures à celles des composants pris séparément.

Un matériau composite est constitué dans le cas le plus général d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. La phase discontinue, appelée renfort ou matériau renforçant, est habituellement plus dure avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la phase continue, appelée matrice (Figure.3.1) [12].



**Figure.3.1** : Schéma illustratif d'un matériau composite [13].

### 3.3. Avantage des matériaux composites [10]:

- Grande résistance à la fatigue.
- Faible vieillissement sous l'action de l'humidité, de la chaleur, et la corrosion
- Insensibles aux produits chimiques "mécaniques " comme les graisses, huiles, liquides hydrauliques, peintures, pétrole

### 3.4. Les constituants des matériaux composites:

Un matériau composite est l'association de deux constituants :

- ✓ La matrice (la résine).
- ✓ Les renforts.

### 3.4.1. La matrice :

La matrice est, avec les renforts, l'un des deux principaux constituants des matériaux composites. C'est le terme désignant la résine polymérisée dont le rôle est de maintenir les renforts en place et de leur assurer la cohésion et la protection. Elle permet également la transmission des efforts mécaniques vers les renforts. La matrice est généralement homogène et isotrope ; on distingue les matrices céramiques, les matrices métalliques, les matrices minérales et les matrices organiques [13].

#### 3.4.1.1. Différentes natures de la matrice :

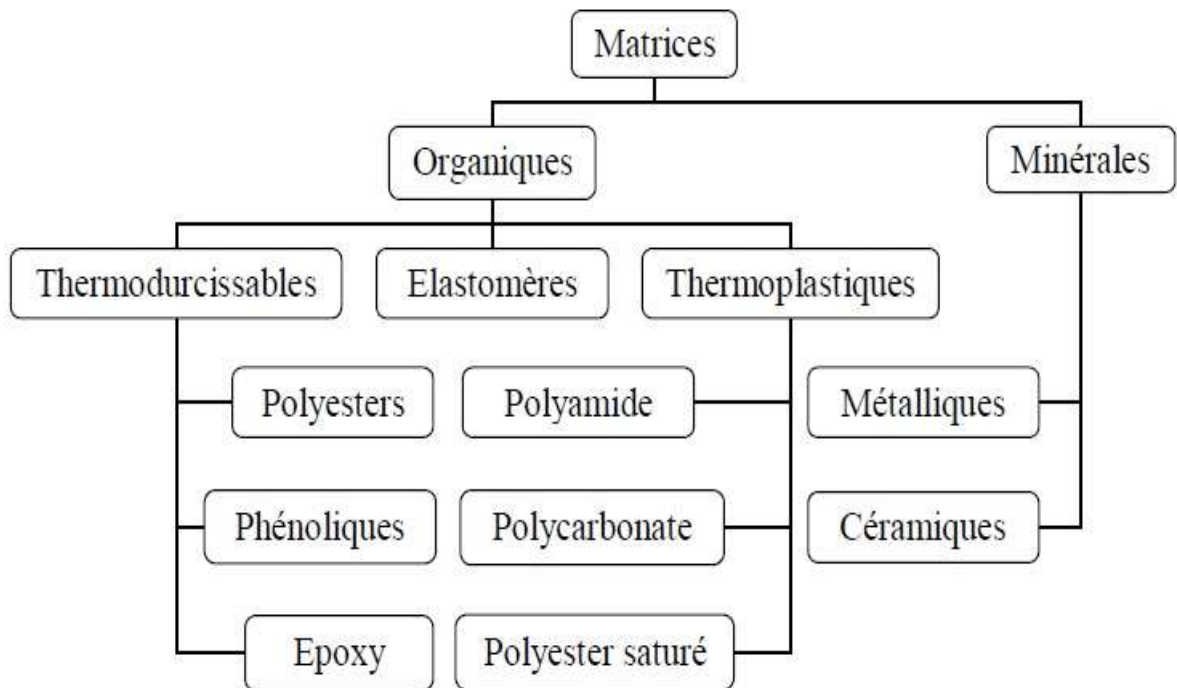


Figure.3.2 : Différentes familles de matrice [14].

### 3.4.2. Les renforts [10]:

Ils constituent l'armature ou le squelette du matériau, il assure la tenue mécanique (résistance à la traction et rigidité).

Ils sont souvent de nature filamenteuse (des fibres organiques ou inorganiques).

### 3.4.2.1. Différents types de renfort :

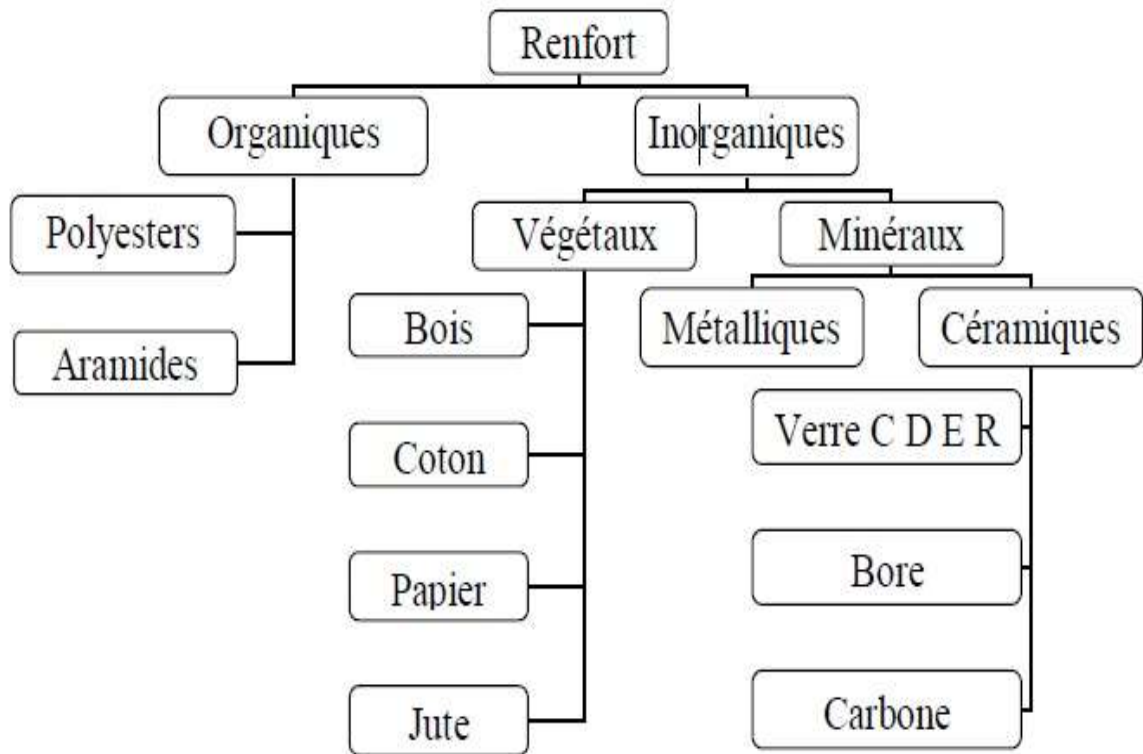


Figure 3.3 : Les différentes familles de renfort [14].

### 3.5. Structure des matériaux composites [12]:

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

- Les monocouches.
- Les stratifiées.
- Les sandwiches.

### 3.5.1. Monocouche ou pli [15]:

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

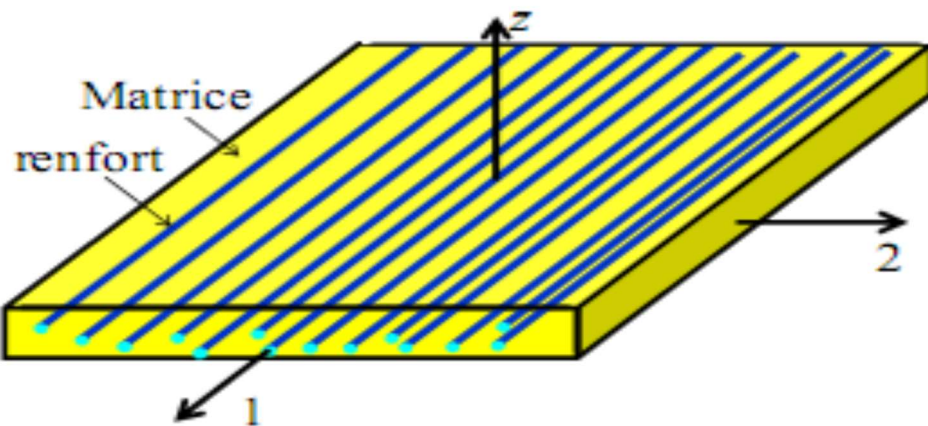


Figure 3.4 : Schéma Monocouche ou pli

### 3.5.2. Stratifiés:

Les stratifiés sont constitués de couches successives (appelées parfois plis) de renforts (fils, stratifiés, mat, tissus, etc.) imprégnés de résines. [14].

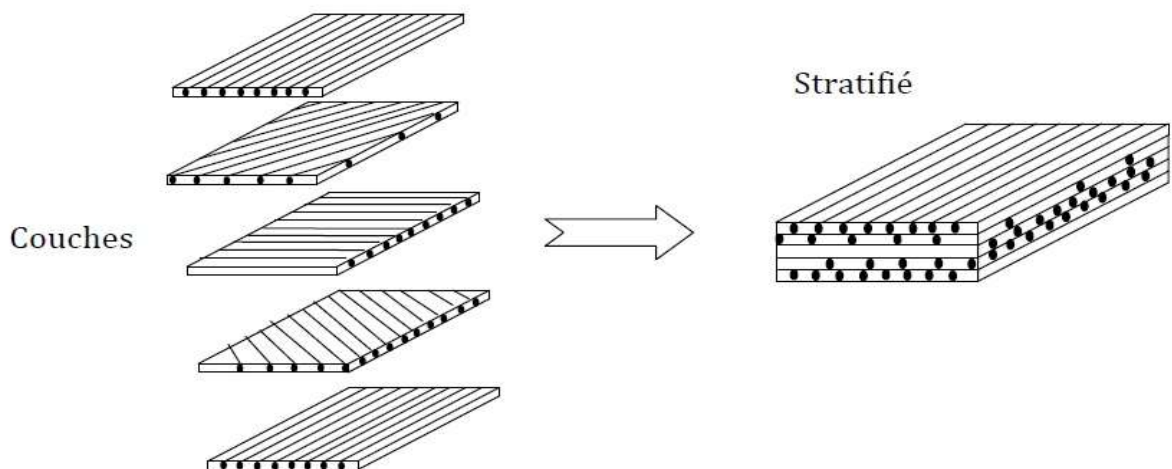


Figure 3.5 : Constitution d'un stratifié [16]

### **3.6. Les avantages et les inconvénients d'un matériau composite [12].**

Les composites sont préférés à d'autres matériaux parce qu'ils offrent des atouts liés à :

- Leur possibilité de prendre plusieurs formes, d'intégrer des accessoires et permettre la réduction de bruit. Inconvénients qui freinent leur diffusion :
- Les coûts des matières premières et des procédés de fabrication.
- La gestion des déchets engendrés et la réglementation de plus en plus stricte.
- Leur légèreté.
- Leur résistance à la corrosion et aussi à la fatigue.
- Leur insensibilité aux produits comme les graisses, les liquides hydrauliques, les peintures et les solvants.

L'industrie des matériaux composites doit donc aujourd'hui relever certains défis tels que :

- La maîtrise des émanations de produits organiques volatiles, par exemple le styrène.
- La maîtrise des procédés de transformations et des performances des matériaux qui sous-entend une très bonne connaissance des constituants mis en place.

Réduction de bruit. Inconvénients qui freinent leur diffusion :

- Les coûts des matières premières et des procédés de fabrication.
- La gestion des déchets engendrés et la réglementation de plus en plus stricte.

### **3.7. Quelques définitions [10] :**

- HOMOGENE: Mêmes propriétés en tout point.
- HETEROGENE: Propriétés différentes d'un point à un autre.
- ISOTROPE: Mêmes propriétés dans toutes les directions.
- ORTHOTROPE: Propriétés symétriques par rapport à 2 plans de symétrie
- ANISOTROPE: Propriétés différentes selon les directions.



Un matériau composite est la plupart du temps hétérogène et anisotrope.

On distingue :

- Les matériaux composites dits de “grande diffusion GD” dont les propriétés mécaniques.
- Sont plutôt faibles mais d'un coût compatible avec une production en grande série.
- Les matériaux composites dits “hautes performances HP”, présentant des propriétés mécaniques spécifiques élevées et un coût unitaire important. Ce sont les plus employés en aéronautique et dans le spatial.

### **3.8. CONCLUSION**

Dans ce chapitre, nous nous sommes attachés à présenter et à définir, brièvement la notion de matériau composite. Dans un premier temps, on a présenté les différents constituants des matériaux composites, les différents types de ces matériaux, ainsi que la notion de monocouche [18].

# **Chapitre 04 :**

## **Résultats**

#### 4.1. INTRODUCTION :

Dans ce chapitre on modélise une structure poutre encadrée en utilise l'abaqus on choisie, l'élément C3D8R (élément – brick – 8 nœuds – intégration réduite).

#### 4.2. Structure en matériaux isotropes:

Soit une structure Poutre monocouche encadrée et sous une charge uniformément répartie sur la surface supérieure dont les caractéristiques mécaniques et géométriques sont:

$L = 4 \text{ m}$ ,  $W = 0.5 \text{ m}$ ,  $H = 0.3 \text{ m}$ ,  $E = 30\text{e}9 \text{ Pa}$ ,  $\nu = 0.3$ ,  $q = 30\text{e}3 \text{ N}$

Avec :

$L$  : longueur

$E$  : module de Young

$W$  : largeur

$\nu$ : le coefficient de poisson

$H$  : l'épaisseur

$q$  : la charge

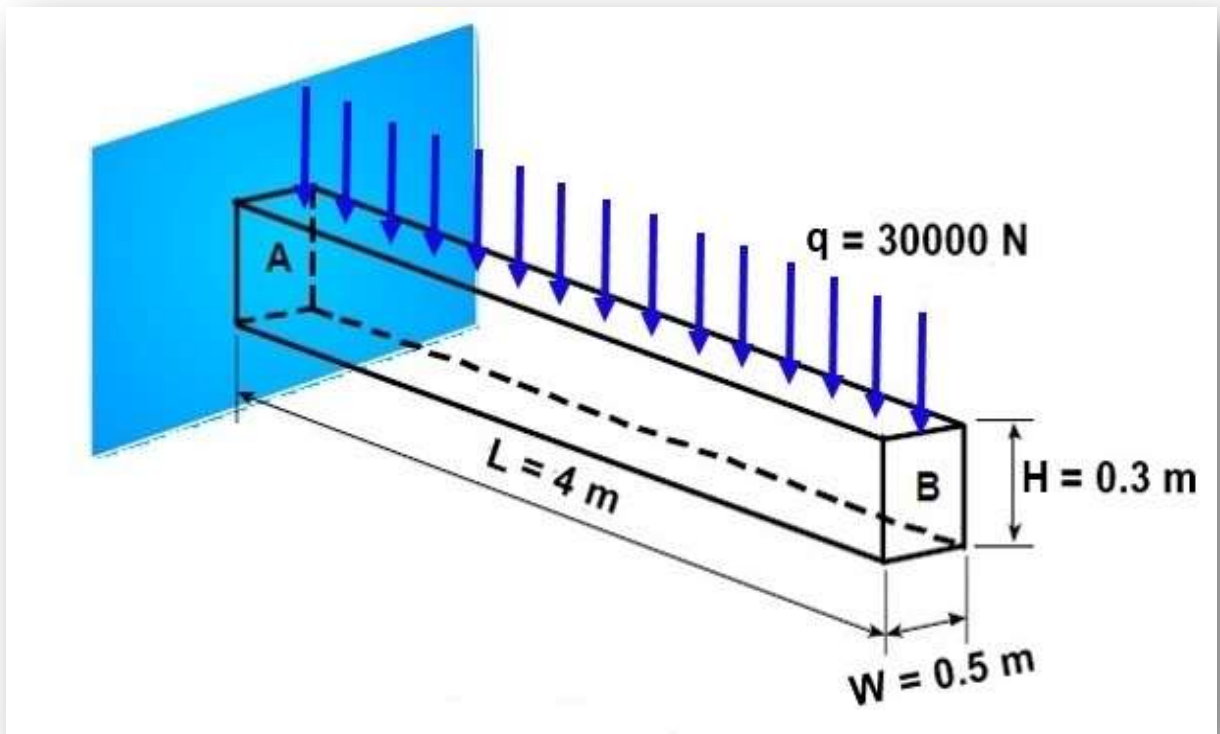


Figure 4.1: structure poutre encadrée

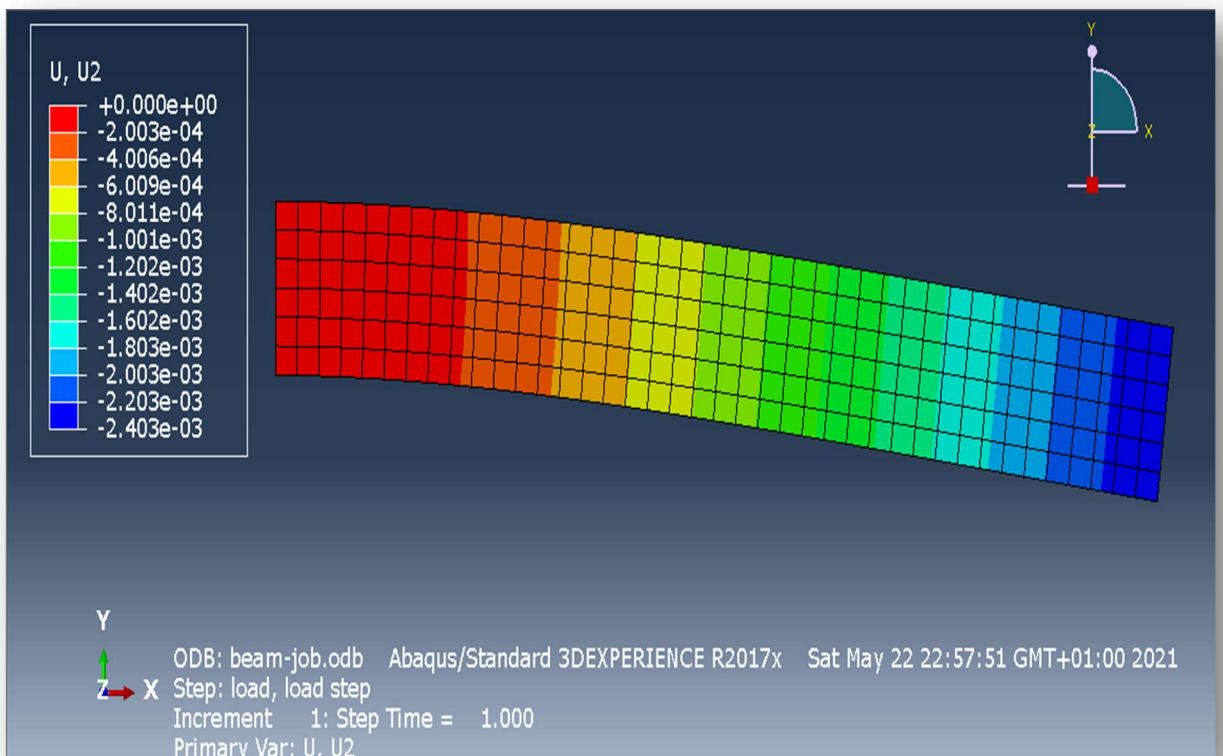
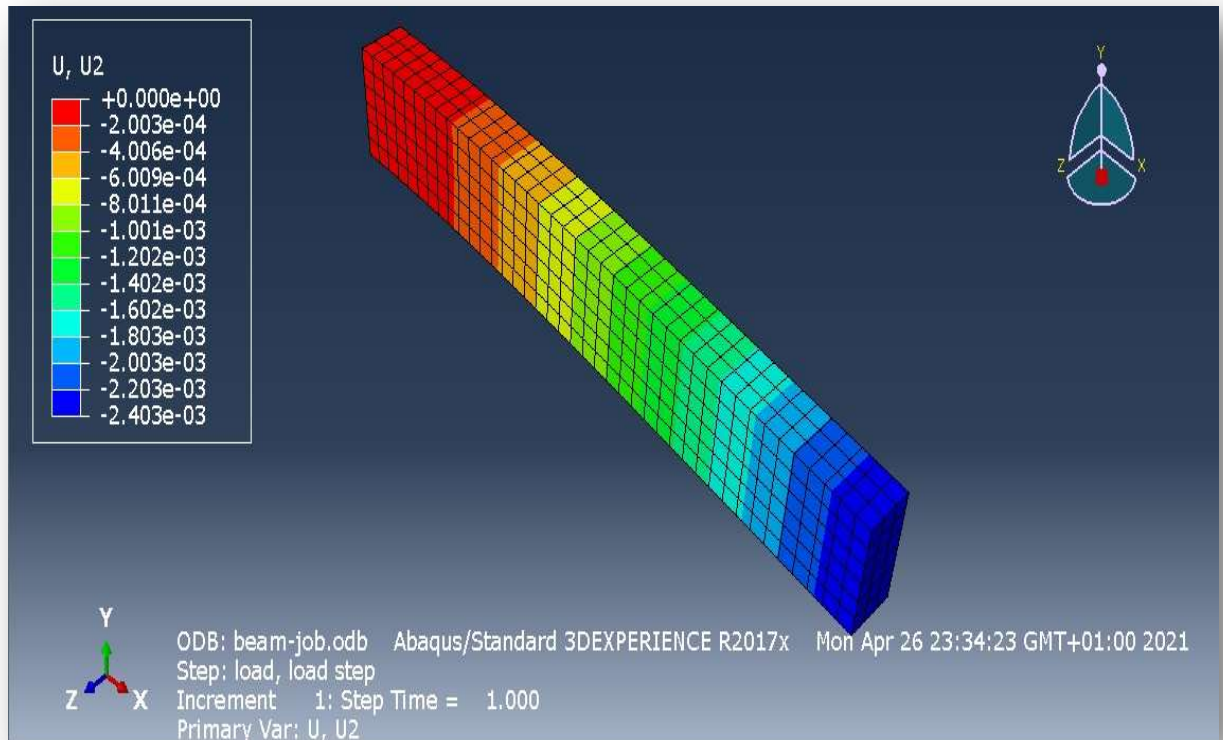
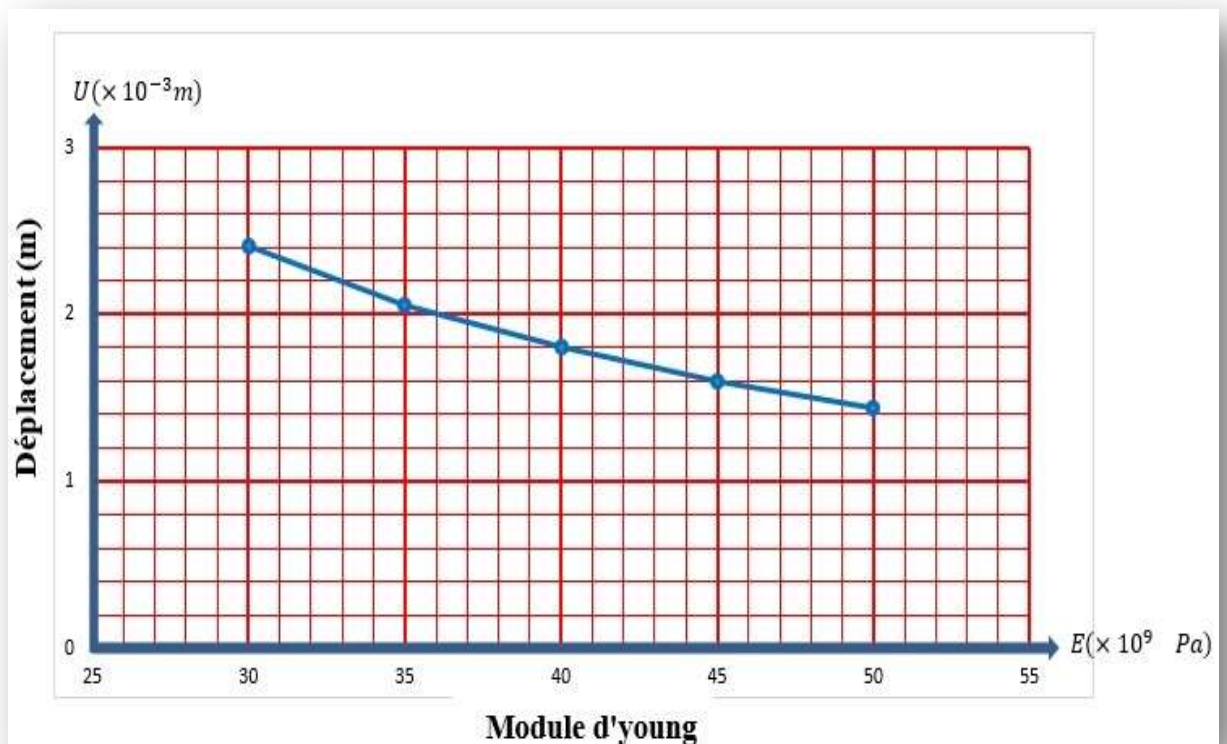


Figure 4.2 : simulation par logiciel ABAQUSE

#### 4.2.1. Influence de du module de Young E:

Soit une structure Poutre monocouche encastree et sous une charge uniformement repartie sur la surface superieure dont les caracteristiques mecaniques et geometriques sont:

$L = 4 \text{ m}$ ,  $W = 0.5 \text{ m}$ ,  $H = 0.3 \text{ m}$ ,  $E = 30 \text{e}9 \text{ Pa}$ ,  $\nu = 0.3$ ,  $q = 30 \text{e}3 \text{ N}$



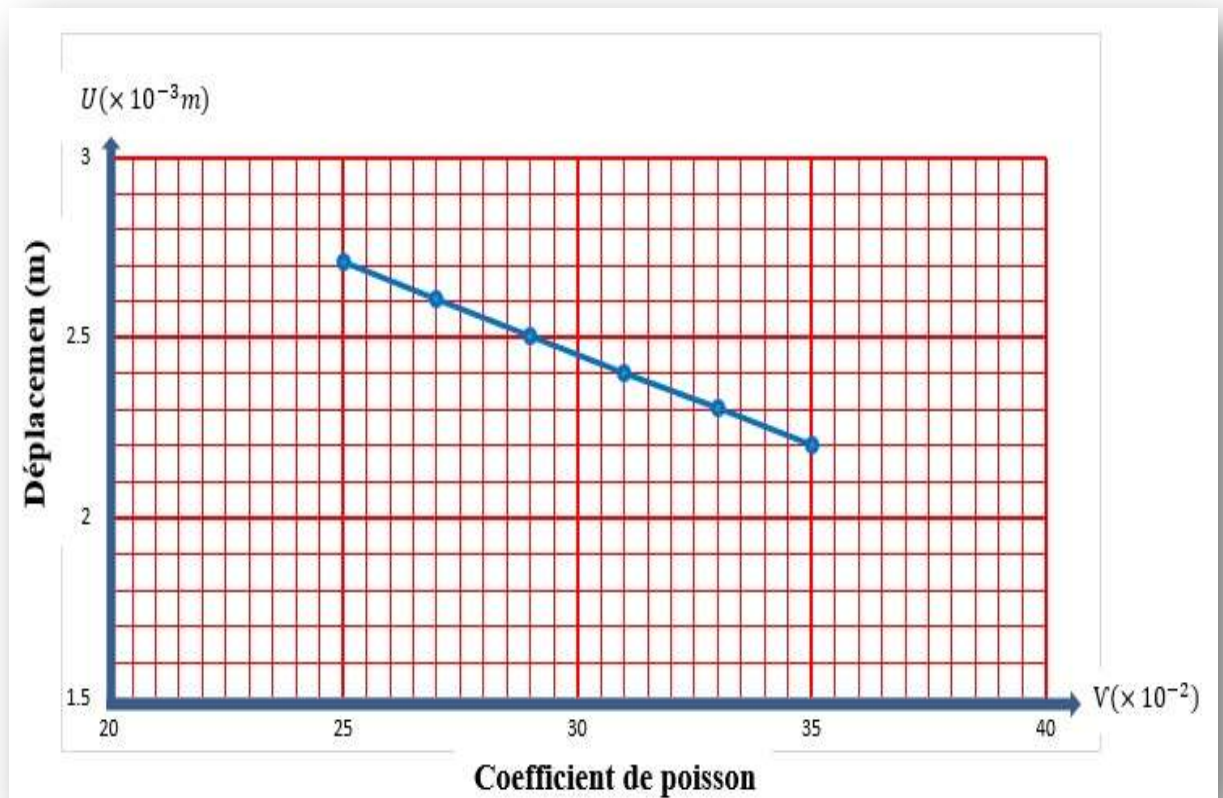
**Figure 4.3:** Evolution de déplacement en fonction du module d'Young.

- ❖ Ce graphe (Figure 3) nous permet de voir l'effet du module de Young sur le déplacement transversal à l'extrémité de la poutre. on peut voir clairement que le déplacement diminue progressivement quand l'on augmente la valeur du module de Young.

#### 4.2.2. Influence du coefficient de poisson:

Soit une structure Poutre monocouche encastree et sous une charge uniformement repartie sur la surface superieure dont les caracteristiques mecaniques et geometriques sont:

$$L = 4 \text{ m}, \quad W = 0.5 \text{ m}, \quad H = 0.3 \text{ m}, \quad E = 30e9 \text{ Pa}, \quad \nu = 0.3, \quad q = 30e3 \text{ N}$$



**Figure 4.4:** Evolution de déplacement en fonction de coefficient de poisson.

- ❖ Ce graphe (Figure 4) nous permet de voir l'effet du coefficient de poisson sur le déplacement transversal à l'extrémité de la poutre. On peut voir clairement que le déplacement diminue progressivement quand l'on augmente la valeur du coefficient de poisson.
- ❖ On peut voir que le graphe (Figure 4) est presque linéaire
- ❖ A noter que dans le cas d'un changement du coefficient de Poisson, la valeur de la flèche maximale est toujours inférieure à celle du module d'Young.

4.3. Structure en matériaux Orthotrope :

Soit une structure poutre monocouche sous une charge uniformément répartie sur la surface avant dont les caractéristiques mécaniques et géométriques sont:

$L = 400 \text{ mm}$ ,  $W = 100 \text{ mm}$ ,  $H = 2.5 \text{ mm}$ ,  $q = 125 \text{ MPa}$

$E1=139000 \text{ MPa}$ ,  $E2=145000 \text{ MPa}$ ,  $E3= 145000 \text{ MPa}$ ,  $V12=0.21$ ,  $V13=0.21$ ,

$V23=0.38$ ,  $G12=5860 \text{ MPa}$ ,  $G13=5860 \text{ MPa}$ ,  $G23=5253.6 \text{ MPa}$

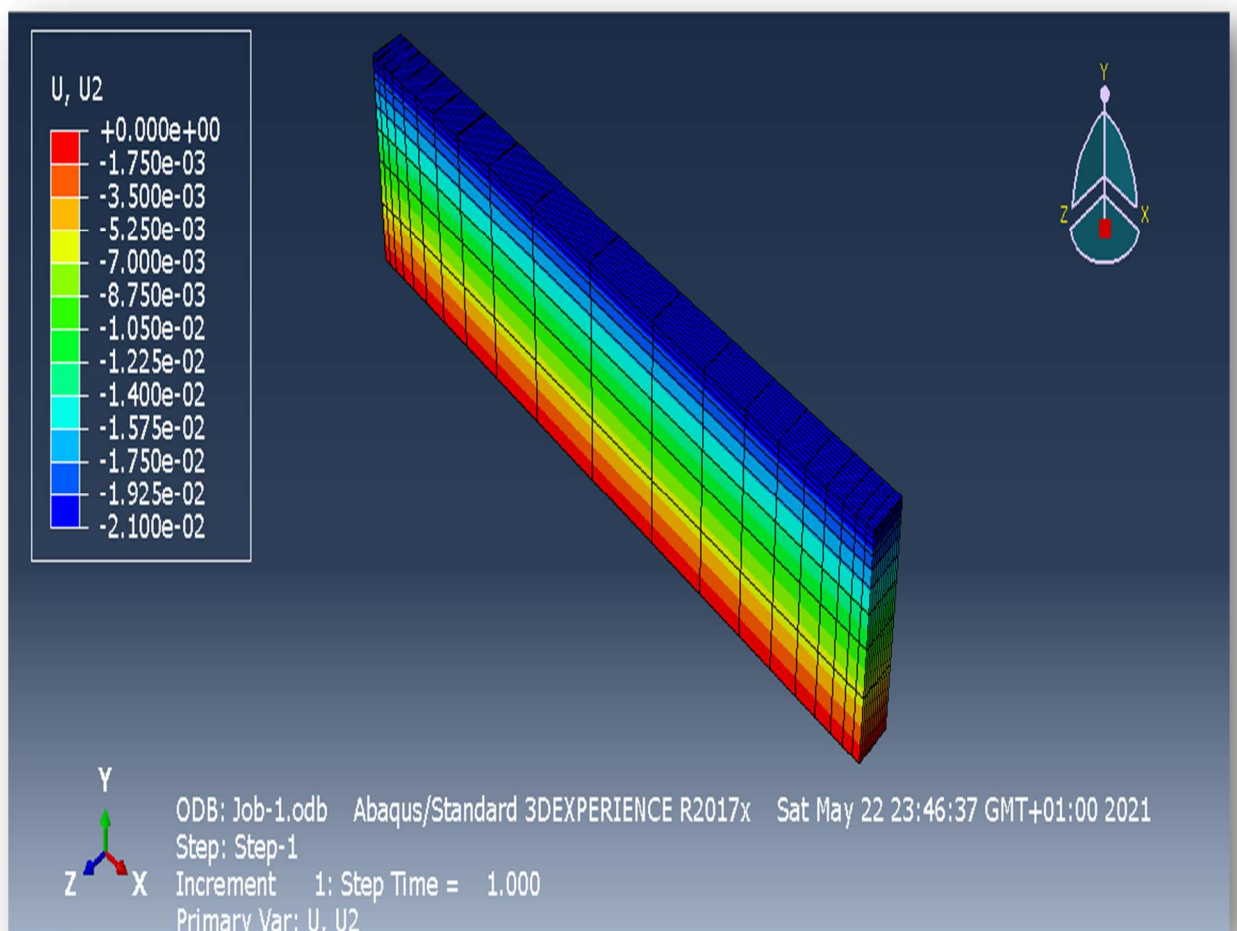


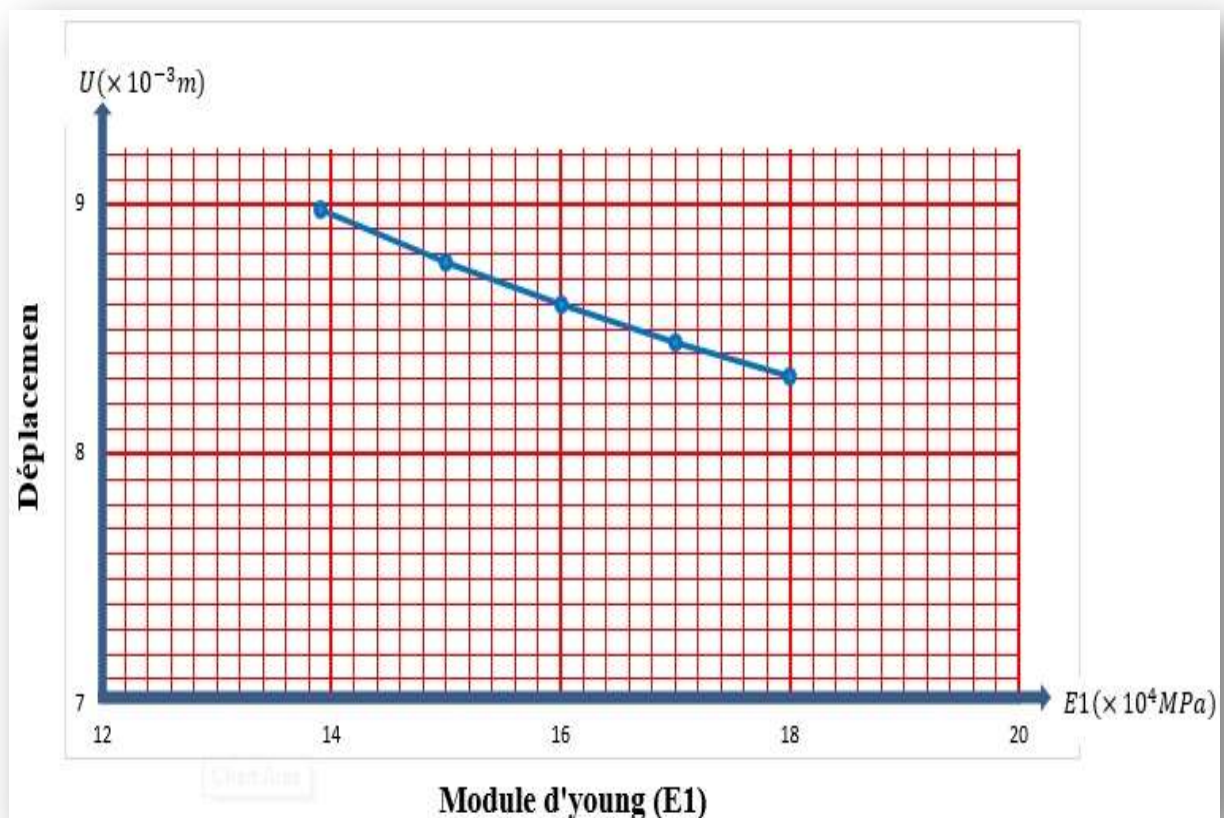
Figure 4.5 : simulation par logiciel ABAQUSE

### 4.3.1. Influence de du module de Young E1:

Soit une structure poutre monocouche sous une charge uniformément répartie sur la surface avant dont les caractéristiques mécaniques et géométriques sont:

$L = 400 \text{ mm}$ ,  $W = 100 \text{ mm}$ ,  $H = 2.5 \text{ mm}$ ,  $q = 125 \text{ MPa}$

$E1=139000 \text{ MPa}$ ,  $E2=145000 \text{ MPa}$ ,  $E3= 145000 \text{ MPa}$ ,  $V12=0.21$ ,  $V13=0.21$ ,  
 $V23=0.38$ ,  $G12=5860 \text{ MPa}$ ,  $G13=5860 \text{ MPa}$ ,  $G23=5253.6 \text{ MPa}$



**Figure 4.6:** Evolution de déplacement en fonction du module d'Young ( $E1$ ).

- ❖ Ce graphe (Figure 6) nous permet de voir l'effet du module d'Young ( $E1$ ) sur le déplacement transversal à l'extrémité de la poutre. on peut voir clairement que le déplacement diminué progressivement quand l'on augmente la valeur du module de Young.

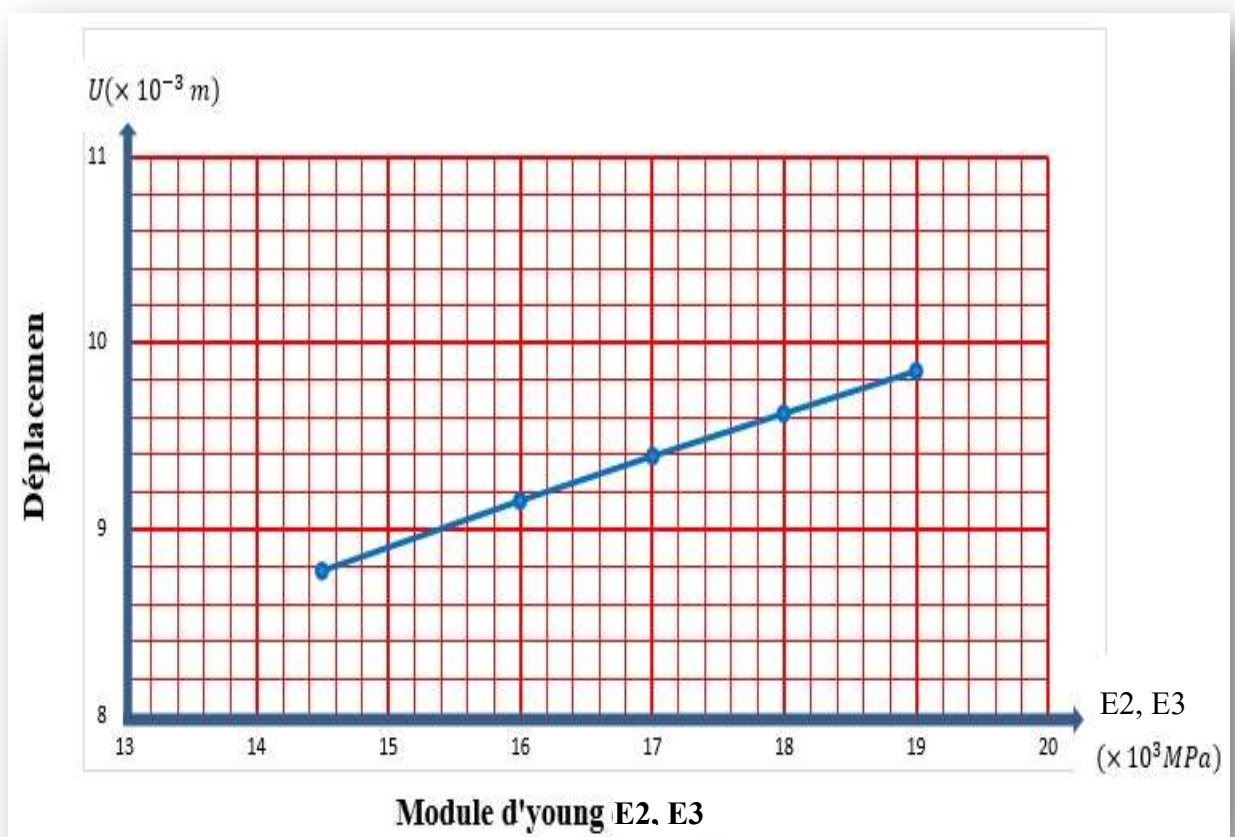


### 4.3.2. Influence de du module de Young ( $E_2, E_3$ ) :

Soit une structure poutre monocouche sous une charge uniformément répartie sur la surface avant dont les caractéristiques mécaniques et géométriques sont:

$L = 400 \text{ mm}$ ,  $W = 100 \text{ mm}$ ,  $H = 2.5 \text{ mm}$ ,  $q = 125 \text{ MPa}$

$E_1=139000 \text{ MPa}$ ,  $E_2=145000 \text{ MPa}$ ,  $E_3= 145000 \text{ MPa}$ ,  $V_{12}=0.21$ ,  $V_{13}=0.21$ ,  
 $V_{23}=0.38$ ,  $G_{12}=5860 \text{ MPa}$ ,  $G_{13}=5860 \text{ MPa}$ ,  $G_{23}=5253.6 \text{ MPa}$



**Figure 4.7:** Evolution de déplacement en fonction du module d'Young ( $E_2, E_3$ ).

- ❖ Ce graphe (Figure 7) nous permet de voir l'effet du module d'Young ( $E_2, E_3$ ) sur le déplacement transversal à l'extrémité de la poutre. on peut voir clairement que le déplacement augmente progressivement quand l'on augmente la valeur du module de Young.

### 4.3.3. Influence du coefficient de poisson ( $V_{23}$ ) :

Soit une structure poutre monocouche sous une charge uniformément répartie sur la surface avant dont les caractéristiques mécaniques et géométriques sont:

$L = 400$  mm,  $W = 100$  mm,  $H = 2.5$  mm,  $q = 125$  MPa

$E_1=139000$  MPa,  $E_2=145000$  MPa,  $E_3= 145000$  MPa,  $V_{12}=0.21$ ,  $V_{13}=0.21$ ,  
 $V_{23}=0.38$ ,  $G_{12}=5860$  MPa,  $G_{13}=5860$  MPa,  $G_{23}=5253.6$  MPa



**Figure 4.8:** Evolution de déplacement en fonction de coefficient de poisson ( $V_{23}$ ).

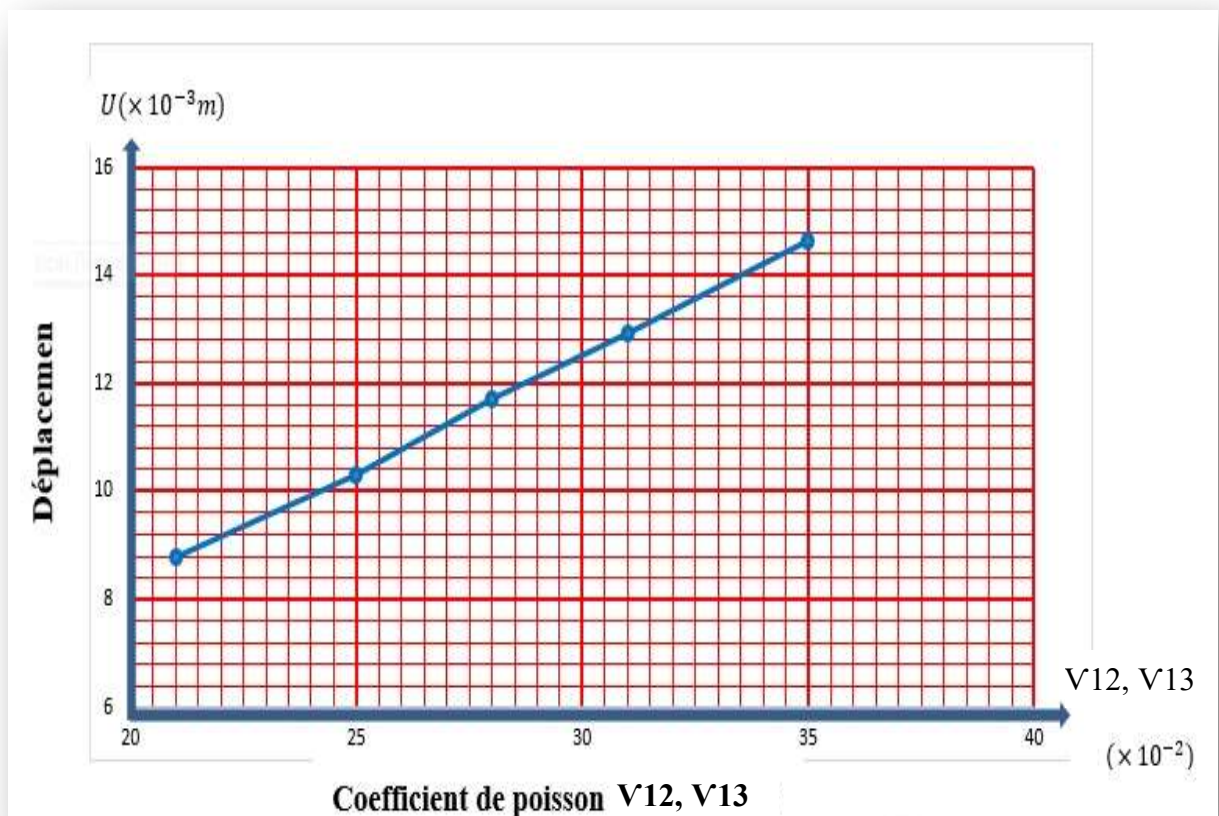
- ❖ Ce graphe (Figure 8) nous permet de voir l'effet du coefficient de poisson ( $V_{23}$ ) sur le déplacement transversal à l'extrémité de la poutre. on peut voir clairement que le déplacement augmente progressivement quand diminué la valeur du coefficient de poisson.

#### 4.3.4. Influence du coefficient de poisson ( $V_{12}, V_{13}$ ) :

Soit une structure poutre monocouche sous une charge uniformément répartie sur la surface avant e dont les caractéristiques mécaniques et géométriques sont:

$L = 400 \text{ mm}$ ,  $W = 100 \text{ mm}$ ,  $H = 2.5 \text{ mm}$ ,  $q = 125 \text{ MPa}$

$E_1=139000 \text{ MPa}$ ,  $E_2=145000 \text{ MPa}$ ,  $E_3= 145000 \text{ MPa}$ ,  $V_{12}=0.21$ ,  $V_{13}=0.21$ ,  
 $V_{23}=0.38$ ,  $G_{12}=5860 \text{ MPa}$ ,  $G_{13}=5860 \text{ MPa}$ ,  $G_{23}=5253.6 \text{ MPa}$



**Figure 4.9:** Evolution de déplacement en fonction de coefficient de poisson ( $V_{12}, V_{13}$ ).

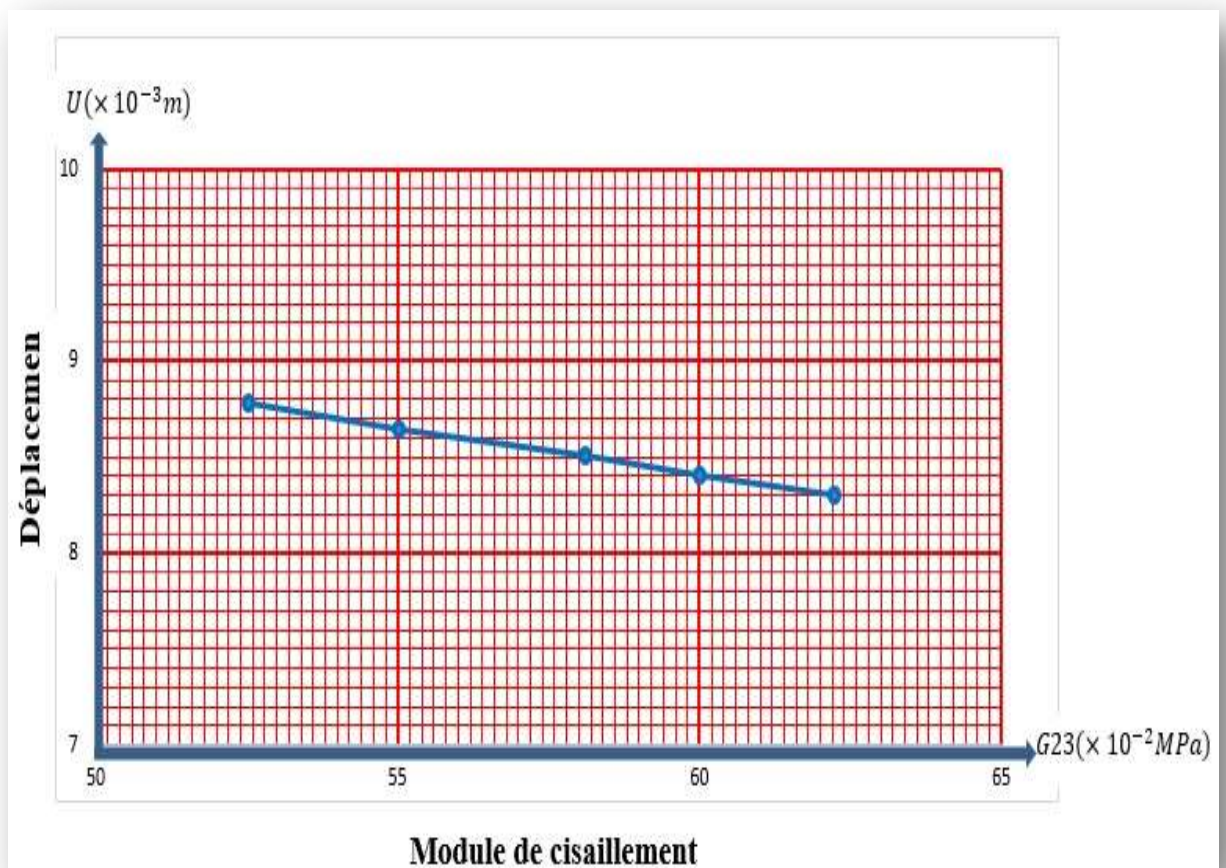
- ❖ Ce graphe (Figure 9) nous permet de voir l'effet du coefficient de poisson ( $V_{12}, V_{13}$ ) sur le déplacement transversal à l'extrémité de la poutre. on peut voir clairement que le déplacement augmente progressivement quand l'on augmente du la valeur du coefficient de poisson.

#### 4.3.5. Influence du module de cisaillement $G_{23}$ :

Soit une structure poutre monocouche sous une charge uniformément répartie sur la surface avant dont les caractéristiques mécaniques et géométriques sont:

$L = 400 \text{ mm}$ ,  $W = 100 \text{ mm}$ ,  $H = 2.5 \text{ mm}$ ,  $q = 125 \text{ MPa}$

$E_1=139000 \text{ MPa}$ ,  $E_2=145000 \text{ MPa}$ ,  $E_3= 145000 \text{ MPa}$ ,  $V_{12}=0.21$ ,  $V_{13}=0.21$ ,  
 $V_{23}=0.38$ ,  $G_{12}=5860 \text{ MPa}$ ,  $G_{13}=5860 \text{ MPa}$ ,  $G_{23}=5253.6 \text{ MPa}$



**Figure 4.10:** Evolution de déplacement en fonction du module de cisaillement ( $G_{23}$ ).

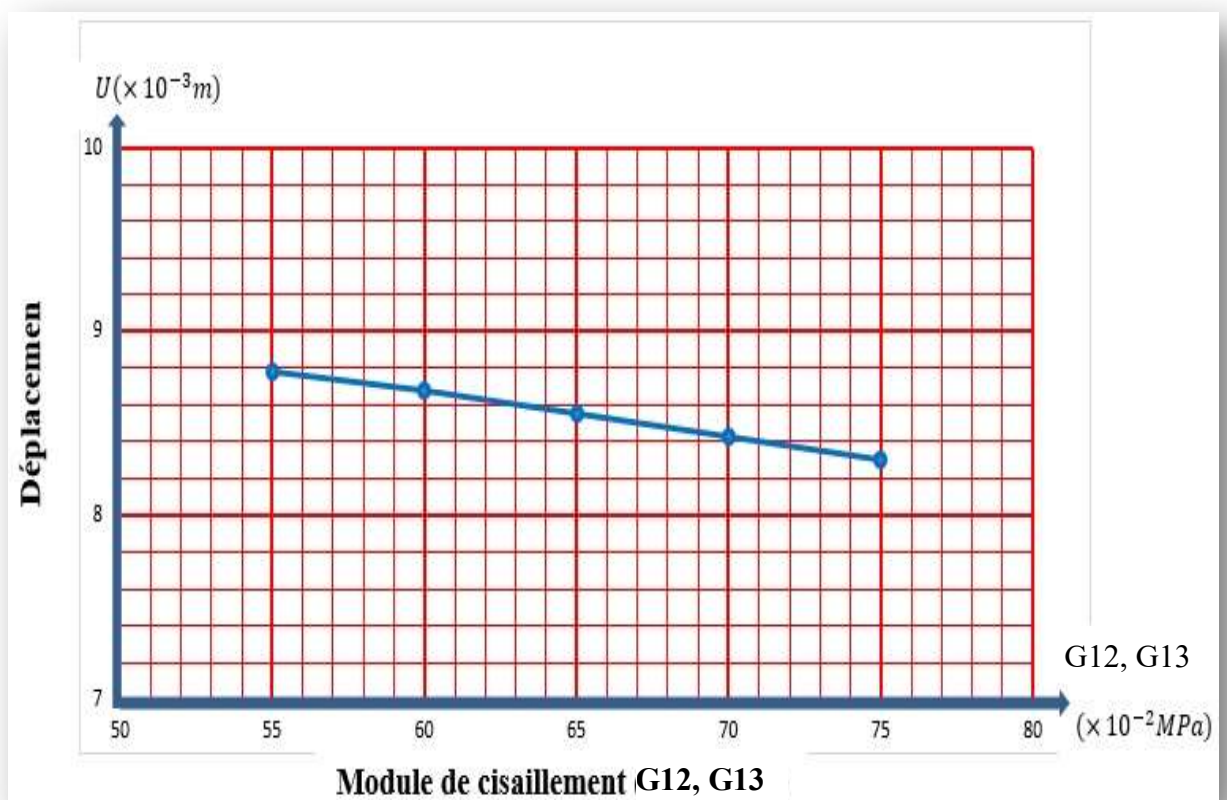
- ❖ Ce graphe (Figure 10) nous permet de voir l'effet du module de cisaillement ( $G_{23}$ ) sur le déplacement transversal à l'extrémité de la poutre. on peut voir clairement que le déplacement diminue progressivement quand l'on augmente la valeur du module de cisaillement

#### 4.3.6. Influence du module de cisaillement ( $G_{12}, G_{13}$ ) :

Soit une structure poutre monocouche sous une charge uniformément répartie sur la surface avant dont les caractéristiques mécaniques et géométriques sont:

$L = 400$  mm,  $W = 100$  mm,  $H = 2.5$  mm,  $q = 125$  MPa

$E_1 = 139000$  MPa,  $E_2 = 145000$  MPa,  $E_3 = 145000$  MPa,  $V_{12} = 0.21$ ,  $V_{13} = 0.21$ ,  
 $V_{23} = 0.38$ ,  $G_{12} = 5860$  MPa,  $G_{13} = 5860$  MPa,  $G_{23} = 5253.6$  MPa



**Figure 4.11:** Evolution de déplacement en fonction du module de cisaillement ( $G_{12}, G_{13}$ ).

- ❖ Ce graphe (Figure 11) nous permet de voir l'effet du module de cisaillement ( $G_{12}, G_{13}$ ) sur le déplacement transversal à l'extrémité de la poutre. on peut voir clairement que le déplacement diminue progressivement quand l'on augmente la valeur du module de cisaillement, on peut dire qu'on a obtenu le graphe même de la Figure 4.10.
- ❖ L'augmentation du module de cisaillement contribue à rigidifier la structure

### Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons étudié l'influence des propriétés mécaniques sur la structure monocouche par élément fini de type déplacement. L'objectif primordial de ce travail est d'étudier le comportement mécanique de structure poutre encastree sous une charge uniformément répartie Sur la surface supérieure.

On a étudié l'influence des caractéristiques mécaniques des constituants sur le déplacement transversal. On a observé que tous les caractéristiques choisis influent sur le déplacement par augmentation ou diminution, selon le cas.

Le travail sur l'ABAQUS nous a permet de prendre une idée détaillée sur le calcul par élément finis.

### REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1]. BERDJI, M. E. B., GHERIBI, N., & Hecini, A. *Modélisation d'une structure en matériaux isotropes* par la méthode des éléments finis (Doctoral dissertation).
- [2]. Bessais, L. A. K. H. D. A. R. (2012). Analyse des structures par la MEF basée sur l'approche en déformation. Génie mécanique, Université Mohamed Khider-Biskra.
- [3]. Meziani, N. (2006). Contribution de l'approche en déformation dans la modélisation des structures à contour circulaire (Doctoral dissertation, Faculté des sciences et de la technologie université Mohamed Khider-Biskra).
- [4]. Barour, S. Analyse de l'effet de cisaillement sur le comportement des poutres.
- [5]. kherraze, Med Fares, Mehda Med Islam, & Hecini, A. (2018). Reformulation et implantation d'un élément finis quadrilatérale (Doctoral dissertation).
- [6]. Bari Taieb. (2019). Modélisation des structures 3D en élastoplasticité utilisant l'Abaqus (Doctoral dissertation, Génie mécanique, Université Mohamed Khider-Biskra.).
- [7]. Bouleftour, A. Evaluation d'éléments finis volumiques dans Abaqus sur des cas tests non linéaires géométriques (Masters thesis).
- [8]. Julien Briche, Thermomécanique. Introduction à la CAO sur le logiciel ABAQUS.
- [9]. [http://web.mit.edu/calculix\\_v2.7/CalculiX/ccx\\_2.7/doc/ccx/node27.html](http://web.mit.edu/calculix_v2.7/CalculiX/ccx_2.7/doc/ccx/node27.html)
- [10]. ZABIA, M. S. étude du comportement mécanique des structures multicouches en flexion par éléments finis (Doctoral dissertation).
- [11]. Achour, T. (2011). Étude des techniques de réparation des structures composites endommagées.
- [12]. GASMI, S., & BELGUENDOZ, C. (2020). Elaboration et caractérisation d'un matériau composite renforcé par les fibres de paille de blé (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
- [13]. LITIEM, A., & HAMDI, A. A. VIBRATION LIBRE DES PLAQUES COMPOSITES MULTICOUCHES EN UTILISANT MEF PAR LE CODE CALCUL ANSYS (Doctoral dissertation).

- [14]. DJEBLOUN, Youcef (2004) ETUDE DE LA RUPTURE EN MODE I D'OUVERTURE DES MATERIAUX COMPOSITES. Masters thesis, Université Mohamed Khider Biskra.
- [15]. Achour, T. (2011). Étude des techniques de réparation des structures composites endommagées.
- [16]. Kaskas, S. (2010). Etude de l'effet du cisaillement transverse sur le comportement mécanique de poutres composite.
- [17]. Alimi, L., Menail, Y., Chaoui, K., Kechout, K., Mabrouk, S., Zeghib, N., ... & Bedoud, K. (2019, Novembre). Mechanical Strength Analysis and Damage Appraisal in Carbon/Perlon/Epoxy Composite for Orthopedic Prostheses. In International Symposium on Materials and Sustainable Development (pp. 23-33). Springer, Cham.
- [18]. MERAZI, M. (2015). Analyse mécanique des structures composites: Etude comparative entre les différentes théories des plaques (Doctoral dissertation).