

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعيدة – د. الطاهر مولاي –

UNIVERSITÉ DESAÏDA– Dr MOULAY TAHAR – Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil & Hydraulique



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER en Génie Civil

Spécialité : « Structures »

ÉTUDE NUMERIQUE PAR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS D'UNE
POUTRE EN BETON ARME

Présenté par :

Mr. MOHAMMEDI YUCEF

Membres du jury

Pr. M. M. BOUZIANE
Pr. A. BENOUIS
Dr. M. BENTAHAR

Professeur
Professeur
Maître de conférences A

Université Dr. Moulay Tahar de Saïda
Université Dr. Moulay Tahar de Saïda
Université Dr. TAHAR Moulay de Saïda

Président
Examineur
Encadrant

Année Universitaire : 2024 – 2025

REMERCIEMENT

On remercie Allah le Tout-Puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de M. BENTAHAR Mohammed. On le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Des remerciements aux membres du jury pour avoir accepté de siéger et d'évaluer ce travail. Je tiens également à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé, soit par leurs connaissances dans des domaines précis, soit sous forme de conseils quand j'en avais besoin. Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui se sont intéressées de près ou de loin au projet.

Dédicace.

Je dédie ce travail à ma chère mère, qu'Allah protège, la comble de bienfaits et m'accorde la chance de pouvoir un jour la célébrer et lui rendre ne serait-ce qu'une partie de tout ce qu'elle m'a donné. Son amour inconditionnel et ses prières silencieuses m'ont accompagné à chaque étape de mon chemin.

À la mémoire de mon père, qu'Allah lui fasse miséricorde (Allah yarhmah) et l'accueille dans Son immense paradis. Sa sagesse et ses valeurs continuent de vivre en moi.

À mes frères et sœurs, pour leur affection, leur appui et leur présence constante, même dans les moments les plus difficiles.

À mes amis, en particulier les plus fidèles, qui ont su rester à mes côtés avec bienveillance, loyauté et encouragement.

Un merci tout spécial à mes amis d'étude, avec qui j'ai partagé les efforts, les doutes, les réussites et les souvenirs marquants de ce parcours académique.

Enfin, j'adresse ma profonde gratitude à mon encadreur M BENTAHAR Mohammed, pour sa précieuse guidance, sa disponibilité et les informations qu'il m'a généreusement transmises. Son accompagnement a grandement contribué à la réalisation de ce travail.

Symboles et notations

Symboles	unité	Symboles	unité
N: Effort normal	(N)	P, q : Charge concentrée	(N)
V, T : Effort tranchant	(N)	A et B : Réactions d'appuis concentrées	(N)
M : Moment fléchissant	(N.mm)	→: Force horizontale	(N)
F/X : Translation horizontale	(NM)	↑: Force verticale	(N)
F/Y : Translation verticale	(NM)	θ : Angle de rotation	(degré)
M _z : Rotation	(degré)	M : Masse	(Kg)
W : Poids	(N)	b : Largeur	(cm)
G : Centre de gravité	(cm)	L : Longueur	(cm)
e : Epaisseur	(cm)	E : Module de Young	(MPa)
h : Hauteur	(cm)	S : Surface (mm ²)	(mm ²)
f _r : Valeur de flèche de référence	(mm)	y : Distance du point M par rapport à la ligne neutre	(mm)
f _m : Valeur de flèche mesurée	(mm)	W : Charge (N)	(N)
δX : L'erreur absolue (l'unité de la grandeur à mesurer)	(cm)	Mf: Moment fléchissant dans la section droite S	(N.mm)
I : Moment d'inertie	(mm ⁴)	τ : Contrainte de cisaillement	(MPa)
σ : Contrainte normale	(MPa)	I _z : Moment quadratique de la section droite S par rapport à l'axe (G, z)	(mm ⁴)
X : Valeur mesurée de la grandeur	(cm)	X _e : Valeur théorique exacte de la même grandeur.	(cm)
ϵ_r : l'erreur relatif	(%)	Y' : Dérivée première	(S.U)
S : coefficient de sécurité	(S.U)	Y'' : Dérivée seconde	
Re : résistance élastique	(MPa)	ϵ : Déformation	(mm)
R _{pe} : résistance pratique à l'extantion	(MPa)	Δx : incertitude absolue	(U.G. M)

الملخص:

نمذجة سلوك العارضة ظاهرة بالغة الأهمية في مجال الهندسة المدنية. علاوة على ذلك، فإن الهدف من هذه الأطروحة هو تقديم نمذجة عددية لعارضة خرسانية مسلحة لنموذج (ثلاثي الأبعاد). تم استخدام الحجم التقريبي الكلي للشبكة للنماذج EM3 و EM2 و EM1 الثلاثة 0.1 و 0.08 و 0.04. بالإضافة إلى ذلك، تم تقييم المتغيرات المختلفة مثل الكتلة الفعالة من ALLAE والطاقات المختلفة مثل الطاقة الداخلية والطاقة الكلية وطاقة إجهاد سطح (EM6 و EM5 و EM4 و EM3) من ناحية أخرى، تمت نمذجة الإزاحات والإجهادات والانفعالات لعارضة الخرسانة المسلحة ذات السلوك الخطي بواسطة ذات 8 عقد لنمذجة العارضة C3D8R بالإضافة إلى ذلك، تم استخدام عناصر (FEM) طريقة العناصر المحدودة لنمذجة الجمالونات والتعزيزات. بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء المحاكاة T3D2 والألواح، وكذلك تم استخدام عناصر ABAQUS العددية بواسطة كود حساب

الكلمات المفتاحية: عوارض، خرسانة مسلحة، ABAQUS، صفيحة، شبكة، تسليح، نمذجة، طريقة العناصر المحدودة
C3D8R، EM، FEM

Résumé :

La modélisation du comportement des poutres est un phénomène crucial dans le domaine du génie civil. Par ailleurs, l'objectif de ce mémoire est de présenter une modélisation numérique d'une poutre en béton armé d'un modèle (3D). La taille globale approximative du maillage pour les trois modèles 0,1, 0,08 et 0,04 a été utilisée. En outre, les différentes variables telles que l'effectif de masse (EM1, EM2, EM3, EM4, EM5 et EM6), les différentes énergies telles que l'énergie interne, l'énergie totale, l'énergie de déformation superficielle ALLAE ont été évaluées. D'autre part, les déplacements, les contraintes et les déformations de la poutre en béton armé à comportement linéaire ont été modélisées par la méthode des éléments finis (FEM). En outre, les éléments C3D8R à 8 nœuds ont été utilisés pour modéliser la poutre et les plaques, ainsi que les éléments T3D2 qui ont été utilisés pour modéliser les treillis et les armatures. De plus, la simulation numérique a été réalisée par le code de calcul ABAQUS.

Mots clés: Poutre, béton armé, Abaqus, plaque, treillis, armatures, modélisation, la méthode des éléments finis FEM, EM, C3D8R

Abstract:

The modeling of beam behavior is a crucial phenomenon in the field of civil engineering. Furthermore, the objective of this thesis is to present a numerical modeling of a reinforced concrete beam using a 3D model. The approximate overall mesh size for the three models, 0.1, 0.08, and 0.04, was used. Furthermore, various variables such as mass density (MD1, MD2, MD3, MD4, MD5, and MD6) and different energies such as internal energy, total energy, and surface deformation energy (ALLAE) were evaluated. On the other hand, the displacements, stresses, and strains of the reinforced concrete beam with linear behavior were modeled using the finite element method (FEM). Furthermore, the C3D8R 8-node elements were used to model the beam and plates, while the T3D2 elements were used to model the trusses and reinforcements. Moreover, the numerical simulation was carried out using the ABAQUS finite element code.

Keywords: Beam, reinforced concrete, Abaqus, plate, lattice, reinforcement, modeling, finite element method FEM, EM, C3D8.

Table des Matières

REMERCIEMENT.....	I
DEDICACE.....	II
SYMBLES ET NOTATIONS.....	III
TABLE DES MATIERES.....	06
LISTE DES FIGURES:	10
LISTE DES TABLEAUX:.....	14
INTRODUCTION GÉNÈRELE :.....	16
1. ASPECTS GÉNÉRAUX SUR LES COMPORTEMENTS DES	
POUTRES:	18
1.1 INTRODUCTION:	18
1.2 GENERALITES DES POUTRES:.....	18
1.2.1 Types de poutres :	18
1.2.1.1 Définition :	18
1.2.1.2 Poutre simple :.....	19
1.2.1.3 Poutre console :.....	19
1.2.1.4 Poutre avec Porte-à-faux :	19
1.2.1.5 Poutre encastree et supportee :.....	20
1.2.1.6 Poutre continue :	20
1.2.2.7 Poutre à double encastrement :	21
1.2.3.8 Poutre supportee à double encastrement :.....	21
1.3 NOTION DES CHARGES :	21
1.3.1 Charges permanentes :	21
1.3.2 Charges variables ou d'exploitation:	22
1.3.3 Charges sous forme d'actions indirectes :.....	22
1.3.4 Charges dynamiques :	22
1.3.5.CHARGES EXCEPTIONNELLES :	22
1.3.6.Charges dues au vent :.....	22
1.4 LIAISON DU CORPS SOLIDE ET LEURS RÉACTIONS :.....	22
1.4.1 Appui simple :.....	22
1.4.2 Appui double :.....	23
1.4.3 Encastrement :.....	23
1.5 Comportement des poutres en béton armé :.....	23
1.6 EFFORTS EXTERIEURES :.....	24
1.6.1 Définition :.....	24
1.6.2 Charges en théorie des poutres :.....	25
1.7 SYSTÈMES :.....	26
1.7.1 Système linéaire :.....	26
1.7.2 Système non linéaire:	26
1.8. CONCLUSION :	26

2 GÉNÉRALITÉS SUR LES POUTRES EN RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX :	28
2.1. INTRODUCTION :	28
2.2 Historique du béton :	28
2.3. Définition du béton :	29
2.4. Constituants du béton :	29
2.4.1 Le ciment :	29
2.4.2. Eau de gâchage :	31
2.4.3. Granulat :	32
2.4.3.1 Provenance des granulats :	32
2.4.3.2. Granulats alluvionnaires	32
2.4.3.3. Granulats issus des roches massives :	33
2.4.3.4. Granulats issus de la transformation :	33
2.4.3.5. Granulats de recyclage :	34
2.5. Différents types du béton :	34
2.5.1. Béton non armé (concrète) :	34
2.5.2. Béton précontraint (prestresse concrète) :	34
2.5.3. Béton armé (renforce concrète) :	35
2.6. L'objectif du béton armé :	35
2.7. Caractéristiques physiques et mécaniques du béton :	35
2.7.1. Masse volumique :	35
2.7.2. Déformations différées du béton :	36
2.7.2.1. Retrait :	36
2.7.2.2. Fluage :	36
2.7.2.3. Déformations du béton sous actions courtes (durée < 24 H) :	36
2.7.2.4. Déformations longitudinales du béton :	37
a) Module d'élasticité du béton (Module de YOUNG) :	37
b) Coefficient de poisson :	37
2.8. Diagramme contrainte-déformation du béton :	38
2.8.1. Diagramme expérimental (réel) :	38
2.8.2. Diagrammes contraintes-déformations de calcul :	38
2.8.2.1. Modèle de calcul à l'état limite de service (E.L.S) :	38
2.8.2.2 Modèle de calcul à l'état limite ultime (E.L.U) :	39
2.9. Notions de sollicitations :	39
2.9.1 Sollicitations simples et composées :	40
Sollicitations simples :	40
Sollicitations composées :	40
2.10. Résistance caractéristique à la compression :	40
2.11. Résistance caractéristique à la traction :	40
2.12. TRACTION ET COMPRESSION :	41
2.13. EN FLEXION SIMPLE :	41
2.13.1. Définitions et hypothèses :	41
2.14. LE CISAILLEMENT :	42

2.14.1. Définition :	42
2.15. TORSION :	42
2.15.1. Définition :	42
.....	42
2.15.2. Torseur associé aux forces de cohésion :	43
2.16. CONCLUSION :	43
3 CRÉATION ET PRÉSENTATION DU MODÈLE NUMÉRIQUE	47
3.1.INTRODUCTION :	47
3.2.ASPECTS GÉNÉRALES SUR LA MODÉLISATION NUMÉRIQUES	47
.....	47
3.2.1. La méthode des éléments finis :	47
3.2.2. Avantages et inconvénients de la méthode des éléments finis....	48
3.2.3. CARACTERISTIQUES D'UN ÉLÉMENT FINI :	49
3.2.3.1. Attributs d'un élément fini :	49
3.2.3.2. Géométrie :	49
3.2.3.3. Matériau :	49
3.2.3.4. Nœuds.....	49
3.2.3.5. Degrés de liberté :	49
3.2.3.6. Forces nodales :	49
3.2.4. Type des éléments	49
3.2.5. Choix des éléments finis:.....	51
3.2.6. Qualité d'un élément fini:	51
3.3. DÉFINITION DU LOGICIEL ABAQUS:.....	51
3.4. CARACTÉRISTIQUES DE LOGICIEL ABAQUS :.....	52
3.5. PROBLÈMES :.....	52
3.6. LES ÉLÉMENTS UTILISÉS PAR ABAQUS :.....	52
3.7. RÉALISATION D'UNE SIMULATION NUMÉRIQUE:.....	55
3.8. FICHIERS CRÉÉS PAR ABAQUS LORS DE LA SIMULATION:..	55
3.8.1. Autres fichiers:.....	55
3.8. 2 Systèmes d'unités dans le logiciel ABAQUS:.....	56
3.9 ORGANISATION DE L'INTERFACE ABAQUS CAE (COMPLÈTE ABAQUS ENVIRONNEMENT):.....	56
3.10.PRÉSENTATION DU MODÈLE:	57
3.11. PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX :	57
3.11.1. Caractéristiques mécanique des matériaux :.....	57
3.11.2. Plasticité du béton endommagée :	58
3.11.3. Comportement compressif :.....	58
3.11.4. Comportement en traction :.....	58
3.11.5. Barres d'armature en plastique :.....	59
3.12. ÉTAPES DE LA CRÉATION UN MODÈLE (MODULES):	59
3.12.1. Module (part):	59
3.12.2. Module (Propriété du matériau):.....	61
3.12.3 Module (Assembly):.....	62

3.12.4. Module (Step):.....	63
3.12.5. Module (Interaction):.....	64
3.12.6. Module (Load):	64
3.12.7. Condition aux limites :	66
3.12.8. Maillage:	66
3.12.9. Module Job:.....	67
3.12.10. Module (Visualisation):	68
3.13. CONCLUSION:	68
4 MODÉLISATION NUMÉRIQUE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS .	70
4.1. INTRODUCTION:.....	70
4.2. MODÉLISATION NUMÉRIQUE:	70
4.2.1. Analyses des déplacements :	70
4.2.2. Analyse des déformations :	72
4.2.3. Analyse des contraintes :	75
4.3.RÉSULTATS ET DISCUSSIONS :.....	79
4.3.1.ÉNERGIES :.....	79
4.3.2. MASSE EFFECTIF:	80
4.3.3. EIGVAL et fréquences:	81
4.4. CONCLUSION :	82
CONCLUSION GENERALE:	84
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES:	85
RÉFÉRENCES SITOGRAPHIQUES :.....	86
ANNEXE:	88

Liste des figures:

Figure 1. 1Schéma d'une poutre [2]	15
Figure 1. 2Illustration d'une poutre simple[4]	16
Figure 1. 3Illustration d'une poutre console [3]	16
Figure 1. 4Illustration d'une poutre avec Porte-à-faux [3]	16
Figure 1. 5Illustration d'une poutre encastree et supportee[3]	17
Figure 1. 6Illustration d'une poutre continue [3]	17
Figure 1. 7Illustration d'une poutre à double encastrement [3]	18
Figure 1. 8Illustration d'une poutre à double encastrement[3]	18
Figure 1. 9Appui simple [5]	20
Figure 1. 10Appui double [5]	20
Figure 1. 11Encastrement [5]	20
Figure 1. 12Modes de rupture des poutres en béton armé [6]	21
Figure 1. 13Configuration de poutres simplement appuyées soumises à des charges ponctuelles et réparties variables.....	22
Figure 1. 14Schéma des efforts appliqués à une poutre sur appui[1]	23
Figure 2. 1Différent type de granulats [8]	30
Figure 2. 2Illustration des granulats expansés.[8]	32
Figure 2. 3Évolution temporelle de la déformation totale (déformation instantanée et différée).....	34
Figure 2. 4Essai de compression sur un cylindre en béton	34
Figure 2. 5Évolution de la compression du béton en fonction du temps	35
Figure 2. 6Déformation d'un parallélépipède de sous l'effet d'une force oblique.....	36
Figure 2. 7Diagramme contrainte-déformation simplifié du béton en compression	36
Figure 2. 8Modèle linéaire de comportement du béton en compression avant la rupture	37
Figure 2. 9Modèle de comportement du béton en compression.....	37

Figure 2. 10 illustration les deux sollicitations ; a) traction simple et b) compression simple	39
Figure 2. 11Fibre neutre de section d'une poutre quelconque.....	40
Figure 2. 12un modèle de poutre soumise a des déférentes types de cisaillement [13].....	40
Figure 2. 13Illustration de torsion [13]	41
Figure 2. 14Illustration de tourseuassociaaux forces de cohésion [13]	41
Figure 3. 1Étapes à suivre pour la programmation	54
Figure 3. 2L'interface d'abaqus	55
Figure 3. 3Géométrie du modèle	56
Figure 3. 4Réalisation de la mise en données d'un problème	56
Figure 3. 5Module part	57
Figure 3. 6création de la géométrie	57
Figure 3. 7 poutre	58
Figure 3. 8 propriétés concrete	59
Figure 3. 9 propriétés élastiques	59
Figure 3. 10propriétés concrète (damagedplastisity)	59
Figure 3. 11Les différentes parties de notre modèle; a)BEAM, b)BEARING, c)Compression Rebar, d)LOAD, e)Stirrup, f)Tension Rebar, g)REINFORCEMENT	60
Figure 3. 12 l'assemblage des différentes parties du modèle; plaques, treilles et armatures	60
Figure 3. 13instance et assemblage.....	60
Figure 3. 14création de step	61
Figure 3. 1515 Application des interactions mécaniques dans le modèle ...	61
Figure 3. 16création de charge	62
Figure 3. 17 création de charge	62
Figure 3. 18création de charge	63
Figure 3. 19Condi tions aux limites	63

Figure 3. 20 Global Size	64
Figure 3. 21Global Size	64
Figure 3. 22Global Size	65
Figure 3. 23 module Job	65
Figure 3. 24 module Job	66
Figure 3. 25 module Job	66
Figure 3. 26Visualisation de la poutre composantes de déplacement U1,U2,et U3 dans une structure 3D soumise à une charge.....	66
Figure 4. 1Analyse de déplacements U1 pour les troispoutrepour trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04	69
Figure 4. 2Analyse de déplacements U2 pour les troispoutrespour trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04	70
Figure 4. 3Analyse de déplacements U3 pour les troispoutrespour trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04	70
Figure 4. 4Analyse de déformation (ϵ_{11}) pour les troispoutrespour trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04	71
Figure 4. 5Analyse de déformation (ϵ_{22}) pour les trois poutres pour trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04	72
Figure 4. 6Analyse de déformation (ϵ_{33}) pour les trois poutres pour trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04	72
Figure 4. 7Analyse de déformation (ϵ_{12}) pour les trois poutres pour trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04	73
Figure 4. 8Analyse de déformation (ϵ_{13}) pour les trois poutres pour trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04	73
Figure 4. 9Analyse de déformation (ϵ_{23}) pour les trois poutres pour trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04	74
Figure 4. 10Analyse de contrainte (σ_{11}) pour les trois poutres pour trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04	75

Figure 4. 11Analyse de contrainte (σ_{22}) pour les trois poutres pour trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04	75
Figure 4. 12Analyse de contrainte (σ_{33}) pour les trois poutres pour trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04	76
Figure 4. 13Analyse de contrainte (σ_{12}) pour les trois poutres pour trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04	77
Figure 4. 14Analyse de contrainte (σ_{13}) pour les trois poutres pour trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04	77
Figure 4. 15Analyse de contrainte (σ_{23}) pour les trois poutres pour trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04	78
Figure 4. 16Évolution de l'énergie en fonction du temps; a) Energie interne, b) Energie Total et c)energie ALLAE	79
Figure 4. 17Évolution dela masse effectif en fonction de numéro de mode(NM) ;a) EM1, b)EM2, c) EM3, d) EM4,e) EM5 et f) EM6.....	80
Figure 4. 18Évolution d'EIGVAL et fréquences en fonction du nombre de modes (NM) ;a)EIGVAL et b) Fréquences	81

Liste des tableaux:

Tableau 2. 1 Classification des ciments selon leurs compositions selon la norme NA442 [8]	29
Tableau 2. 2 Présente une Notions de sollicitations	39
Tableau 2. 3 Les déffirent sollicitation	39
Tableau 2. 4 Valeurs courantes de f_{t28} en fonction de f_{c28}	40
Tableau 2. 5 Illustration les deux sollicitations ; a) traction simple et b) compression simple	43
Tableau 3. 1 Types des éléments finis [BAT 90a]	48
Tableau 3. 2 Différentes grandes classes d'éléments [19]	51
Tableau 3. 3 Quelques éléments les plus utilisés	52
Tableau 3. 4 Systèmes unités dans ABAQUS.....	54
Tableau 3. 5 Les caractéristiques des matériaux	55
Tableau 3. 6 illustre la plasticité du béton endommagé	55
Tableau 3. 7 illustre le Comportement compressif.....	56
Tableau 3. 8 présente le Comportement en traction :	56
Tableau 3. 9 Barres d'armature en plastique :	56

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

La résolution analytique de problèmes mécaniques ne peut se faire que dans un nombre de cas limité. Cependant, les méthodes numériques basées sur la discrétisation de ces problèmes présentent une alternative très efficace, souvent utilisées dans le domaine de la mécanique pour résoudre des problèmes complexes. La méthode des éléments finis est de toutes ses méthodes de discrétisation la plus utilisée, car elle peut traiter des problèmes de géométrie complexe, elle couvre de nombreux domaines de la physique et les moyens informatiques actuels (puissance des calculateurs, outils de visualisation et de simulation) la rendent facile à la mise en œuvre.

La méthode des éléments finis est la méthode la plus utilisée actuellement, son champ d'application ne cesse de s'élargir. Le succès de la méthode est que sa formulation utilise des procédés standards qui se répètent au cours de la résolution de problèmes de nature différente. Dans cette étude, on traite analytiquement puis numériquement par des simulations utilisant le code de calcul commercial ABAQUS.

L'objectif principal de ce mémoire est de développer un modèle numérique pour étudier le comportement linéaire d'une poutre en béton armé. En utilisant la modélisation numérique par logiciel Abaqus, nous pourrions analyser plusieurs paramètres tels que la déformation, la contrainte et le déplacement, afin de mieux comprendre son comportement.

Ce mémoire comprend 4 chapitres et est organisé comme suit :

Le premier chapitre présente les aspects généraux des comportements linéaires des poutres. Le deuxième chapitre porte sur les généralités sur les poutres en résistance des matériaux.

Le troisième chapitre est basé sur la présentation globale du logiciel et de ses éléments, la modélisation numérique concernant notre modèle.

Dans le quatrième chapitre présenté, les différents résultats obtenus avec leurs discussions sont également détaillés. Notant que l'étude de cette modélisation est faite par le logiciel ABAQUS.

CHAPITRE I

1. ASPECTS GÉNÉRAUX SUR LES COMPORTEMENTS DES POUTRES:**1.1 INTRODUCTION:**

Une poutre est engendrée par une section droite plane dont le centre appartient à une courbe (C) appelée ligne moyenne du solide. La théorie des milieux curvilignes élastiques adopte l'hypothèse selon laquelle la poutre peut-être modélisée par la courbe (C). L'ensemble des efforts appliqués sur la surface est reporté sur la ligne moyenne. Le calcul en est ainsi simplifié.[1]

1.2 GENERALITES DES POUTRES:

Les poutres sont des pièces principalement sollicitées en flexion. Les pièces fléchies sont parmi les éléments. Les plus couramment utilisés en construction béton armé. On les trouve dans tous les types de structures, ou elles constituent des éléments porteurs principaux (traverses de cadre, poutre de toiture ou de plancher....) ou secondaires (pannes. Lisse). [1]

1.2.1 Types de poutres :**1. 2.1.1 Définition :**

Une poutre est une structure ou un solide dont une dimension est plus grande que les deux autres (en général dimensions de la section).

On appelle poutre une barre, généralement rectiligne, qui travaille principalement en flexion. La réduction des efforts extérieurs au centre de gravité des sections droites fait apparaître principalement des moments fléchissant accompagnés d'efforts tranchants.[2]

Schématisation d'une poutre :

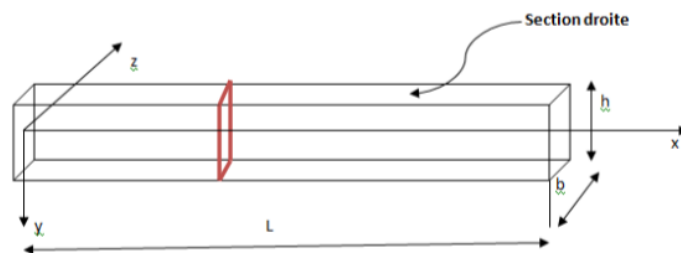


Figure 1. 1 Schéma d'une poutre [2]

L : longueur.

h, b : dimensions de la section.

Dans les schémas de calcul, la poutre est représentée par son axe, qui est par convention l'axe 'x'.

La section est l'intersection de la poutre avec un plan perpendiculaire à son axe. Celle-ci peut avoir plusieurs formes. [2]

1.2. 1.2. Poutre simple :

Une poutre simple est une poutre qui repose sur deux supports et où aucune flexion n'est transférée de la poutre au support.

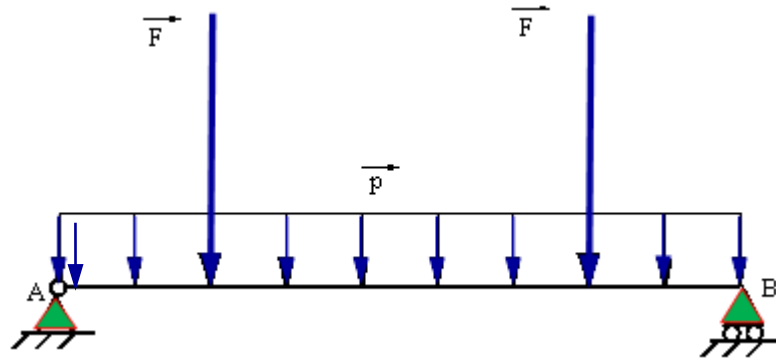


Figure 1. 2 Illustration d'une poutre simple [3]

1.2.1.3. Poutre console :

C'est une poutre encastrée dans un mur à une extrémité. L'extrémité encastrée ne bouge pas pendant la flexion, tandis que l'autre extrémité est entièrement libre. On appelle aussi cette poutre, poutre en porte-à-faux ou poutre encastrée à une extrémité. montre une poutre console.[4]

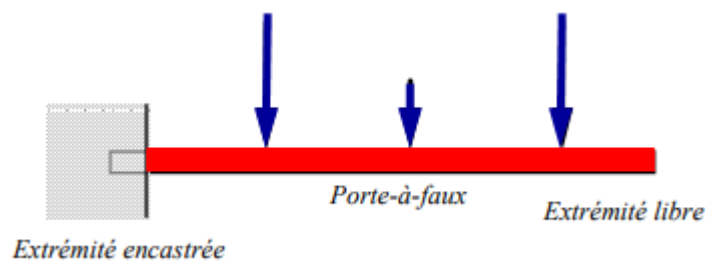


Figure 1. 3 Illustration d'une poutre console [4]

1.2.1.4. Poutre avec Porte-à-faux :

C'est une poutre qui repose sur deux appuis (un simple et l'autre double) et a une ou deux extrémités qui dépassent de façon appréciable les appuis (porte-à-faux). On appelle aussi cette poutre; poutre en porte-a faux d'extrémité (overhanging).[4]

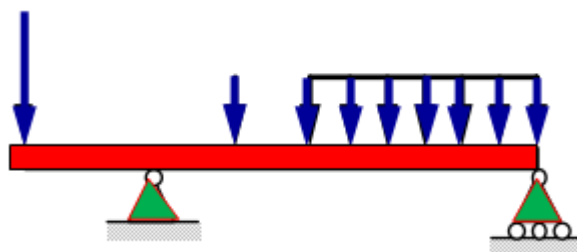


Figure 1. 4 Illustration d'une poutre avec Porte-à-faux [4]

Les poutres sont classées suivant leurs appuis. Les trois types de poutres précédentes entrent dans la catégorie des poutres statiquement déterminées (poutre isostatique). Car ces poutres possèdent

trois inconnues reliées aux trois degrés de liberté et par le fait même aux trois équations d'équilibre.

Équilibre de translation:

1)- $\sum F_x = 0$ translation horizontale

2)- $\sum F_y = 0$ translation verticale

Équilibre de rotation:

3)- $\sum M_z = 0$ rotation par rapport à n'importe lequel axe perpendiculaire au plan des forces xy.

1.2.1.5. Poutre encastrée et supportée :

C'est une combinaison des types A et B. On note que la poutre est liée quatre fois (4 inconnues), c'est donc une poutre en équilibre hyperstatique.[4]

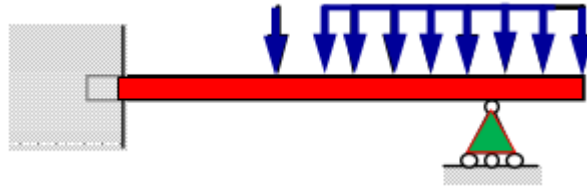


Figure 1. 5 Illustration d'une poutre encastrée et supportée [4]

1.2.1.6. Poutre continue :

C'est une poutre supportée par plus de deux supports, c'est donc une poutre en équilibre hyperstatique.[4]

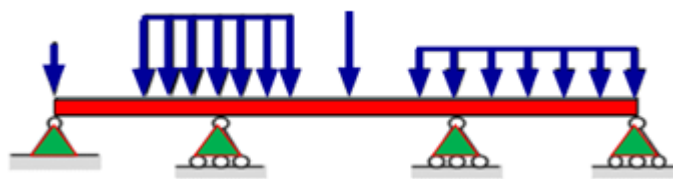


Figure 1. 6 Illustration d'une poutre continue [3]

1.2.1.7. Poutre à double encastrement :

C'est une poutre supportée par deux encastrement, c'est donc une poutre en équilibre hyperstatique.[4]

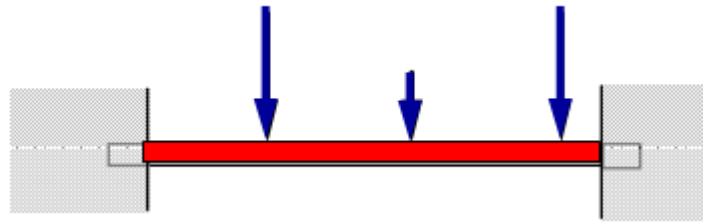


Figure 1. 7 Illustration d'une poutre à double encastrement [4]

1.2.1.8. Poutre supportée à double encastrement :

C'est une poutre soutenue par deux encastrement et supportée par un ou plusieurs supports, c'est donc une poutre en équilibre hyperstatique.[4]

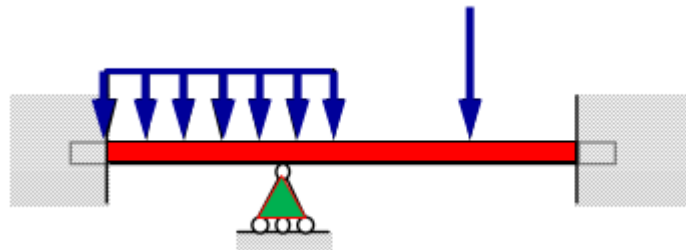


Figure 1. 8 Illustration d'une poutre à double encastrement[4]

-Les poutres à double encastrement et à double supportée encastrement sont des poutres hyperstatiques. Elles ont plus de fixations ou supports que nécessaires. Cependant, ces supports augmentent la capacité portante de la poutre. Les équations de la statique ne suffisent pas pour analyser ces poutres. On a recourt à différentes méthodes.

1.3 NOTION DES CHARGES :

On appelle charge, toute action sollicitant une structure, généralement représentée sous forme d'une force. On cite les types de charges suivantes:

1.3.1 Charges permanentes :

La charge permanentes comprend non seulement le pond propre des éléments porteurs, mais aussi les poids des éléments incorporés aux éléments porteurs tels que : plafond, sol, enduits et revêtements quelconques ainsi que ceux des éléments de la construction soutenus ou supportés par les éléments porteurs tels que : cloisons fixes, conduits de fumée, gaines de ventilation, etc...[1]

1.3.2. Charges variables ou d'exploitation:

Ces charges sont dites aussi charges utiles ou vives, elles regroupent l'ensemble des actions qui peuvent envahir la construction en fonction de sa destination, telles que meubles personnes, machines etc... [1]

1.3.3. Charges sous forme d'actions indirectes :

Ce sont les charges qui ne peuvent se concrétiser sous forme de forces mais font néanmoins naître des efforts internes dans une structure. Parmi ces charges on cite les tassements différentiels, les dilatations et contractions forcées causées par des gradients thermiques, retrait ou fluage des matériaux, frottement des appareils d'appui etc... [1]

1.3.4. Charges dynamiques :

Sont des forces variables qui agissent sur une structure pendant un certain laps de temps. Elles peuvent être de nature périodique, impulsive ou aléatoire, et sont généralement liées à des activités ou à des événements spécifiques tels que la circulation de véhicules, les charges sismiques, les charges de vent fluctuantes, les mouvements des machines , les impacts , etc...[1]

1.3.5. Charges exceptionnelles :

Sont des charges qui dépassent généralement les charges de conception normales et peuvent Survenir de manière imprévisible ou rare. Elles peuvent être dues à des événements tel que des accidents, des catastrophes naturelles, des impacts, etc. [1]

1.3.6. Charges dues au vent :

Sont les forces exercées par le vent sur une structure. Ces forces peuvent varier en fonction de la vitesse du vent, de la direction, de l'obstruction du bâtiment, de la topographie, etc... [1]

1.4. LIAISON DU CORPS SOLIDE ET LEURS RÉACTIONS :

Nous appellerons liaison tout ce qui limite les déplacements d'un corps donné dans l'espace. On les appelle aussi appuis, ils se divisent en trois types :

1.4.1. Appui simple :

Parmi les trois mouvements possibles, dans le plan (2 translation +1 rotation), l'appui simple ne peut bloquer que le mouvement de translation qui est perpendiculaire à son plan d'appui.[5]

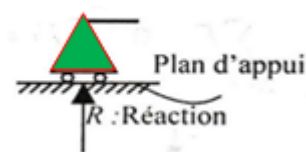


Figure 1. 9 Appui simple [5]

1.4.2 Appui double :

L'appui double admet la rotation et empêche les mouvements de translation, perpendiculaire et parallèle à son plan d'appui. Il est représenté schématiquement par la figure. Sa réaction peut être décomposée en deux composantes (R_v et R_h).[5]

R_v : est perpendiculaire au plan d'appui

R_h : est parallèle au plan d'appui

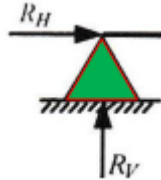


Figure 1. 10 Appui double [5]

1.4.3. Encastrement :

Les trois mouvements possibles dans le plan sont bloqués. Par ce type d'appui.[5]

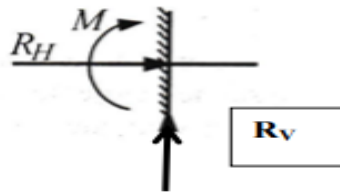


Figure 1. 11 Encastrement [5]

1.5. Comportement des poutres en béton armé :

Lorsqu'on sollicite les poutres en béton armé, différents types de fissures peuvent apparaître. Des fissures horizontales situées dans la zone comprimée de la poutre ou des fissures verticales dans la zone tendue de celle-ci. Ces deux types de fissuration apparaissent en général dans les cas d'une rupture en flexion. Par contre, dans le cas d'une rupture en cisaillement, les fissures sont inclinées. La rupture d'une poutre en béton armé est atteinte lorsque les charges qui la sollicitent excèdent sa résistance. Le mode de rupture dépend de plusieurs paramètres tels que le type de chargement, la géométrie de la section, les propriétés mécaniques des matériaux et leurs taux d'utilisation. La variation de ces paramètres impacte le comportement de la poutre à l'état ultime ainsi que son mode de rupture. La figure, résume les différents modes de rupture d'une poutre en béton armé.[6]

La figure 12, résume les différents modes de rupture d'une poutre en béton armé.

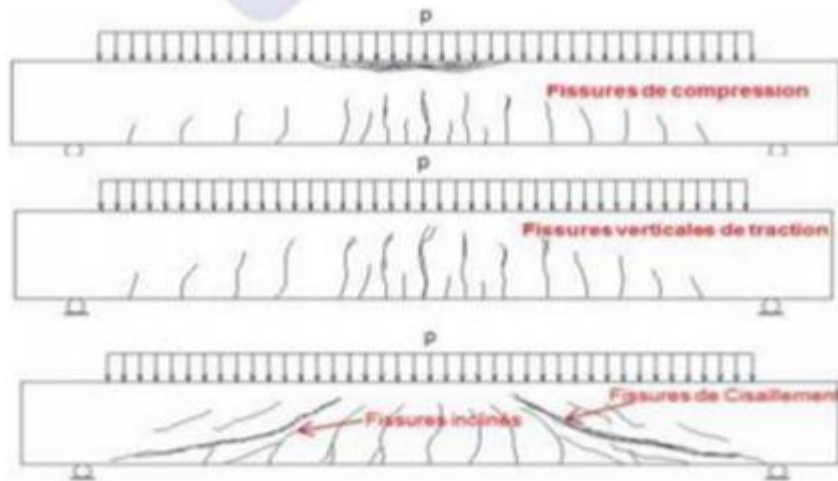


Figure 1. 12 Modes de rupture des poutres en béton armé [6]

1.6. EFFORTS EXTERIEURES :

1.6.1. Définition :

On appelle forces extérieures toutes forces appliquées sur un système donné.

Définition statique : une force est une cause capable de maintenir un corps au repos ou de le déformer.

Définition dynamique : une force est une cause capable de provoquer ou de modifier le mouvement d'un corps.

Concentrées en un point : elles peuvent être centrées (fig.a) ou excentrées (fig.b).

Réparties sur un tronçon (fig.c) ou sur toute la longueur de la poutre (fig.d).

Des moments (fig.e).

La charge répartie q se mesure par unité de force sur unité de longueur (t/m, kN/m, etc).

Dans les calculs, la charge répartie q est remplacée par sa résultante $R^{\rightarrow}$ qui est égale numériquement à l'aire de son diagramme et son point d'application se trouve au niveau du centre de gravité de celui-ci.

Pour une charge uniformément répartie, le diagramme est rectangulaire, sa résultante $R^{\rightarrow}$ est égale à l'aire du rectangle ; soit : $R^{\rightarrow} = q \times L$ et son point d'application se trouve à $a/2$ (centre de gravité du rectangle).[7]

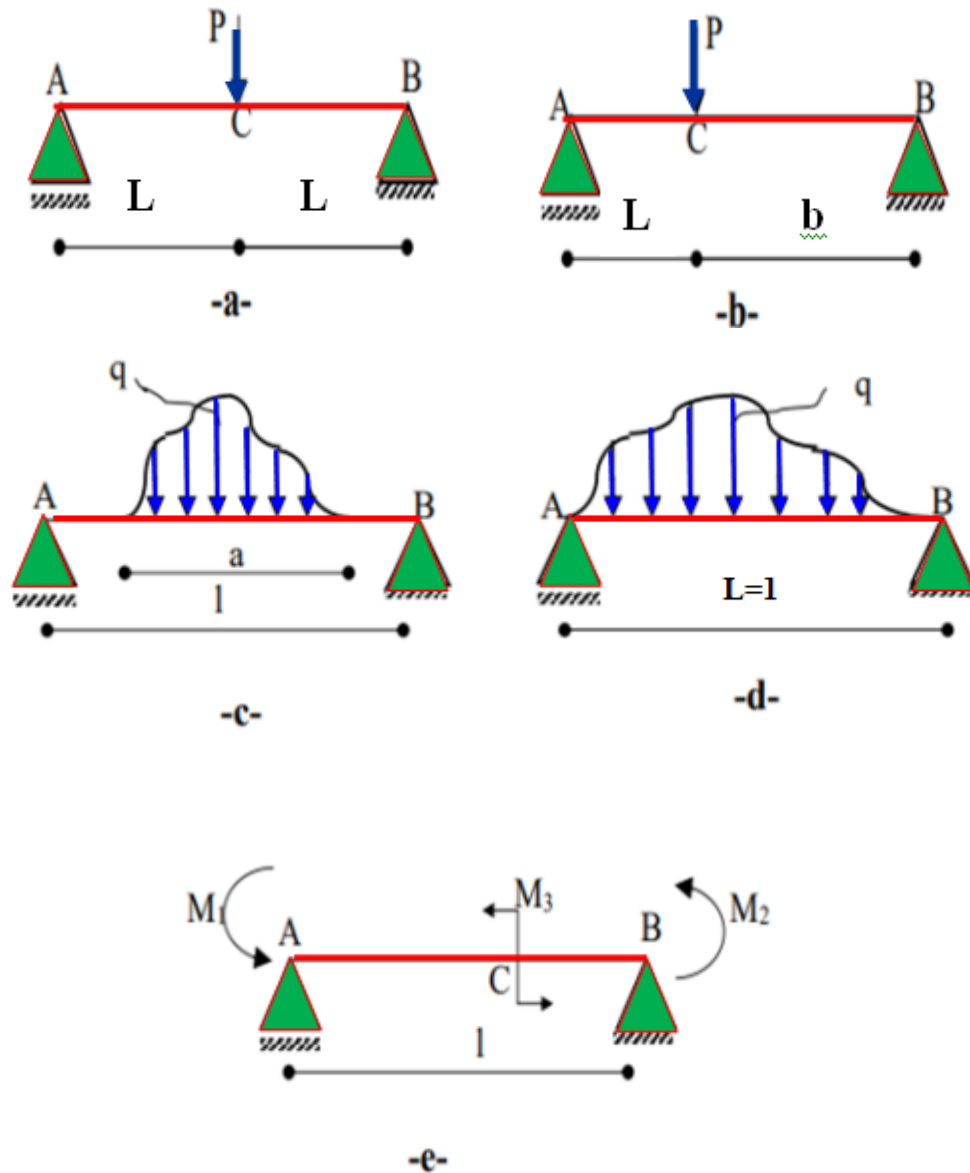


Figure 1. 13 Configuration de poutres simplement appuyées soumises à des charges ponctuelles et réparties variables

1.6.2. Charges en théorie des poutres :

On distingue généralement deux types de charges voir la figure (a et b).

- les charges concentrées (ou ponctuelles F) qui s'appliquent en un point de la poutre.
- les charges réparties (p) qui sont distribuées continûment le long d'un segment de la poutre.

[1]

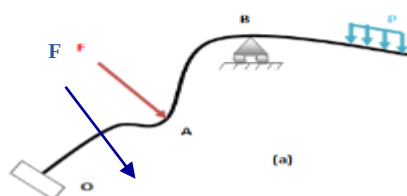


Figure 1. 14 Schéma des efforts appliqués à une poutre sur appui[1]

1.7 SYSTÈMES :**1.7.1 Système linéaire :**

Un système est dit linéaire s'il peut être décrit par des équations différentielles linéaires d'ordre fini à coefficients constants.[5]

1.7.2 Système non linéaire:

Un système est non linéaire s'il ne vérifie pas le principe de superposition. Les conditions de proportionnalité et d'additivité ne s'appliquent plus aux systèmes non linéaires. Lors de l'étude des systèmes non linéaires on se heurte à plusieurs difficultés :

- L'analyse par des fonctions de transfert est impossible,
 - La notion des pôles disparaît,
 - Un système non linéaire possède en général plusieurs points d'équilibre et l'étude de leur stabilité est plus complexe que dans le cas linéaire pour le quel le concept de stabilité est global.
- La non linéarité d'un système peut être intrinsèque ou peut être isolée, c'est-à-dire que l'on peut avoir une association d'éléments à caractéristiques non linéaires à un système linéaire.

Comme pour les systèmes linéaires, il est possible de distinguer, aussi les modèles non linéaires par les caractères suivants :

- A temps continu / A temps discret,
- Invariants dans le temps / Variants dans le temps,
- Monovariabiles / Multivariabiles,
- Déterministes / Stochastiques. [5]

1.8. CONCLUSION :

Les différentes notions nécessaires sur les comportements des poutres ont été étudiées dans ce chapitre, telles que les différents types de poutres, la notion des charges, la notion des appuis, les efforts extérieurs et les théories des poutres.

Chapitre

2

2 GÉNÉRALITÉS SUR LES POUTRES EN RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX :

2.1. INTRODUCTION :

La Résistance des Matériaux(RdM) s'intéresse aux comportements sous charges des structures mécaniques considérées comme déformables.

Ce cours a pour but d'introduire l'analyse de poutres en résistance des matériaux dans le but de prévoir rapidement, en pré-dimensionnement, le comportement des structures.

Une étude de résistance des matériaux passe nécessairement par une première phase de modélisation qui définit :

la géométrie de la structure assimilée à une poutre.

Les liaisons de la structure avec l'extérieur.

Les actions mécaniques extérieures appliquées à la structure, parfois appelées chargement.[7]

2.2 Historique du béton :

Le béton est né du besoin d'avoir un matériau de construction bon marché, malléable au moment de le mettre en place et résistant ensuite.

La forme la plus ancienne du béton remonte à 7000 ans. Un matériau similaire était connu des Egyptiens et des Romains, mais l'essor réel du béton tel qu'on le connaît aujourd'hui est dû à l'Anglais **Joseph Aspidin** qui en 1824 fait breveter le ciment portland.

L'invention du béton armé est généralement attribuée à Joseph **Lambot**, qui, en 1848 construit une barque en « ciment armé », et **Joseph Monnier**, qui, réalisa des bacs à fleurs en 1849 en utilisant la même méthode.

Construire a toujours été l'un des premiers soucis de l'homme et l'une de ses occupations privilégiées. De nos jours également, la construction connaît un grand essor dans la plupart des pays, et très nombreux sont les professionnels qui se livrent à l'activité de bâtir dans le domaine du bâtiment ou des travaux publics. Cependant, si le métier de construire peut-être considéré comme le plus ancien exercé par l'homme, il faut reconnaître qu'il leur a fallu au cours des dernières décades, s'adapter pour tenir compte de l'évolution des goûts et des mœurs, mais surtout aux nouvelles techniques de constructions qui permettent une fiabilité maximum de la structure vis-à-vis des aléas naturels tel que les séismes.

En 1928, **Eugène Freyssinet** à utiliser les câbles pour introduire une force de compression dans les poutres en béton éliminant ainsi toutes forces de traction que peut subir la poutre, cette dernière ne subit que des forces de compression. Comme le béton est doté d'une grande résistance à la compression, l'ouvrage est plus sûr à l'usage et sa durée de vie est remarquablement rallongée. Cette catégorie de béton s'appelle "Béton Précontraint". Le procédé de fabrication des poutres

Chapitre 2 GÉNÉRALITÉS SUR LES POUTRES EN RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

précontraintes reste complexe, il exige une technicité importante et engendre un coût élevé. Il est généralement privilégié lors de la construction des ouvrages d'art de grandes envergures.

Depuis une vingtaine d'année, la plus grande préoccupation des chercheurs est basée sur le renforcement du béton armé à l'aide de matériaux composites (fibres de verre, de carbone, d'aramide...). La conception de renforcement en composites exige une connaissance approfondie du comportement global de la structure renforcée à l'aide de ces matériaux qui ont un comportement à la rupture fondamentalement différent de celui des renforcements conventionnels. Les matériaux composites exigent donc des précautions spécifiques supplémentaires lors de leur utilisation. Les composites sont principalement utilisés comme renforcement à la traction, dans le sens longitudinal de la fibre. Cependant, leur utilisation dans le sens transversal pour améliorer le comportement en effort tranchant s'avère aussi très intéressante. Ce type de renforcement transversal est surtout utilisé pour les poteaux.[8]

2.3. Définition du béton :

Le béton est le matériau de construction par excellence depuis presque un siècle. Constituer à l'origine de seulement quatre composants (gravillons, sable, ciment et eau), leurs méthodes de formulation ont évolué d'un savoir-faire empirique vers la science des matériaux.

Ces constituants sont dosés, en fonction de leurs propriétés, de manière à obtenir, après réaction physico-chimique entre eux, un produit solide dont les caractéristiques physiques et mécaniques peuvent être très supérieures à celles des roches les plus résistantes. Dans la mesure où le ciment est un liant hydraulique lui-même fabriqué avec des minéraux naturels, le béton peut être considéré comme une roche artificielle [8].

2.4. Constituants du béton :

La fabrication du béton nécessite deux ingrédients de base : les granulats, d'une part, qui vont constituer le squelette granulaire et représentent environ les trois quarts du béton en volume, et la pâte de ciment, d'autre part, qui va servir à coller ces granulats entre eux, l'objectif étant d'avoir un matériau moulable qui après durcissement se rapproche d'une roche naturelle. Le cas échéant, l'apport d'adjuvants, et éventuellement d'additions minérales, de fibres, permet d'obtenir telle ou telle caractéristique.[8]

2.4.1 Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous la forme d'une poudre minérale fine s'hydratant en présence d'eau. Il forme une pâte faisant prise qui durcit progressivement à l'air ou dans l'eau. C'est le constituant fondamental du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide. Le ciment est composé essentiellement de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison de la chaux (CaO), de silice (SiO₂),

Chapitre 2 GÉNÉRALITÉS SUR LES POUTRES EN RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

d'alumine (Al_2O_3) et d'oxyde de fer (Fe_2O_3). La chaux nécessaire à la fabrication du ciment est extraite de la roche calcaire ; l'alumine, la silice et l'oxyde de fer sont extraits de l'argile. Le calcaire et l'argile contiennent, en plus des oxydes déjà mentionnés, d'autres oxydes et en particulier $Na_2O + K_2O$ et MgO . Les ciments courants ont pour constituant principal le clinker. Au clinker sont ajoutées, suivant la nature du ciment voulu, les additions minérales de différentes natures.

- Laitier granulé de haut fourneau (S),
- Pouzzolanes naturelles (Z),
- Cendres volantes (V et W),
- Fumées de silice (D),
- Calcaire (L),
- Schistes calcinés (T).

Les ciments courants normalisés sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres Romains dans leur notation Européenne, l'ancienne appellation est indiquée entre parenthèse (Tableau 2.1). Pour chaque ciment sont indiqués les désignations propres et les pourcentages respectifs de leurs constituants[8].

Désignations	Types de ciment	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un des constituants (laitier, cendres, fumées de silice, Pouzzolanes, calcaire, schistes)	Teneur en constituants Secondaires
CEM I (CPA)	Ciment Portland	95 à 100%	/	0 à 5%
CEM II/A (CPJ) CEM II/B (CPJ)	Ciment portland composé	80 à 94% 65 à 79%	De 6 à 20 % de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10 % (*) ; De 21 à 35 % avec les mêmes restrictions que ci-dessus.	0 à 5%
CEM III/A (CHF) CEM III/B (CHF) CEM III/C (CLK)	Ciment de haut-fourneau	35 à 64 % 20 à 34 % 5 à 19 %	36 à 65 % de laitier de haut-fourneau 66 à 80 % de laitier de haut-fourneau 81 à 95 % de laitier de haut-fourneau	/
CEM IV/A (CPZ) CEM IV/B (CPZ)	Ciment pouzzolanique	65 à 90 % 45 à 64 %	10 à 35 % de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à 10 %. 36 à 55 % comme ci-dessus	0 à 5%
CEM V/A (CLC) CEM V/B (CLC)	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64 % 20 à 39 %	18 à 30 % de laitier de haut-fourneau et 18 à 30 % de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. 31 à 50 % de chacun des constituants comme ci-dessus	0 à 5%

Tableau 2. 1 Classification des ciments selon leurs compositions selon la norme NA442 [8]

Il existe d'autres ciments, généralement utilisés pour des ouvrages spéciaux ou dans des conditions spéciales. Parmi ces ciments, on peut citer :

- Ciment prompt naturel (CNP).
- Ciment alumineux fondu (CA).

-Ciment de laitier à la chaux (CLX).

-Ciment à maçonner (CM).

2.4.2. Eau de gâchage :

L'eau introduite dans le béton lors de sa fabrication va remplir deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère au béton frais des propriétés rhéologiques permettant son écoulement et son moulage et une fonction chimique qui contribue au développement de la réaction d'hydratation. L'aspect fondamental du dosage en eau reste celui de la recherche d'un optimum sur un objectif contradictoire : une meilleure résistance obtenue en réduisant la quantité d'eau et une amélioration de l'ouvrabilité en augmentant la teneur en eau. C'est lors de la recherche de cet optimum que les adjuvants peuvent jouer un rôle. Le rapport E/C est un critère important des études de béton ; c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de ces performances : résistance à la compression et durabilité.

En général toutes les eaux conviennent si elles ne contiennent pas d'éléments nocifs qui influenceraient défavorablement sur le durcissement (matières organiques telles que les huiles, les graisses, et les sucres ...) ou la corrosion des armatures (acides humiques, eaux de mer...). L'eau potable du réseau de distribution convient très bien mais l'eau puisée en eau courante ou dans la nappe phréatique peut en général convenir. On évitera toujours l'approvisionnement en eaux stagnantes odoriférantes.

Dans la catégorie des eaux susceptibles de convenir à la confection de béton, on trouve :

- Les eaux potables (qui, bien évidemment, conviennent) ;
- Les eaux de recyclage provenant du rinçage des bétonniers ou des camions malaxeurs à condition de vérifier d'aptitude dans le cas de changement de ciment ou adjuvant d'une gâché à l'autre, sont utilisables. Lorsque ces eaux comportent des éléments fins provenant, des matériaux entrant dans la confection des bétons (ciments, fines des sables...), il est possible de les utiliser après passage dans des bassins de décantation ;
- Les eaux de pluie et ruissellement, les eaux pompées, tant que les conditions suscitées restent vérifiées.

Les catégories d'eaux devant pas être utilisées comprennent :

- Les eaux usées ; les eaux vannent ou contenant des détergents ;
- Les eaux industrielles susceptibles de contenir des rejets organiques ou chimiques ;

Ces différentes eaux doivent obligatoirement subir des analyses concluant à leur nocivité avant l'emploi.

La norme NF P 18-303[9] autorise l'emploi d'eau de mer dans la confection des bétons qui ne sont ni armés ni précontraints, mais les spécifiques du fascicule 65A de la même norme sont

Chapitre 2 GÉNÉRALITÉS SUR LES POUTRES EN RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

rigoureux et interdisent formellement son emploi lors du gâchage, bien que l'eau de mer pour le gâchage de béton non armés ne présente pas de risque à la pérennité de l'ouvrage, seules des efflorescences, dues à une migration des sels, peuvent apparaître sur les parements [8].

2.4.3. Granulat :

On appelle granulats, tout matériau inerte qui entre dans la composition des bétons. C'est l'ensemble des grains compris entre 0 et 125 mm, les granulats vont des fillers, sables, graviers, aux cailloux (voir Figure 2.1).



Figure 2. 1 Différent type de granulats [8]

2.4.3.1 Provenance des granulats :

La provenance des granulats peut être naturelle, de transformation (artificielle) et pour ces dernières années de recyclage. On distingue quatre catégories de granulats en fonction de leur provenance:

- Les granulats d'origine alluvionnaire ; ils sont considérés comme roulés, ou semi concassés ;
- Les granulats de roches massives ; appelés aussi granulats concassés ;
- Les granulats de transformation ayant subis des transformations physico-chimiques ;
- Les granulats de recyclage [8].

2.4.3.2. Granulats alluvionnaires :

Les gisements les plus habituels sont les lits de rivières déposés par les cours d'eau et les fonds marins. En fonction de la situation du gisement par rapport à la hauteur du cours d'eau ou de la nappe phréatique de l'endroit, l'exploitation a lieu soit à sec ou dans l'eau. La forme de ces granulats est roulée. Cette forme est acquise par l'érosion. Ces granulats sont criblés (séparés) en différentes classes granulaires et on peut distinguer :

- Sables et graviers alluvionnaires fluviatiles : siliceux ou silico-calcaires déposés par les cours d'eau pendant l'ère quaternaire. Ils sont exploités tout au long du réseau hydrographique.

Chapitre 2 GÉNÉRALITÉS SUR LES POUTRES EN RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

-Alluvions marines : exploitées entre 10 et 30 mètres de profondeur sur le plateau continental. Ces granulats ne sont immergés que depuis quelques milliers d'années par suite de la remontée du niveau marin après la dernière glaciation (époque actuelle). En réalité, il s'agit d'anciennes alluvions fluviales et littorales.

- Couches de sables ou de sablons, roches sédimentaires non consolidées : déposées il y a des millions d'années [8].

2.4.3.3. Granulats issus des roches massives :

Les gisements de roches massives (carrières) correspondent à une multitude de situations géologiques (couches plus ou moins épaisses, filons, épanchements volcaniques, massifs de granite...) et à des localisations géographiques très différentes. La carrière peut être implantée en plaine sur un plateau ou en montagne au bord d'une falaise. L'exploitation s'effectue à flanc de coteau ou en puits, en fonction de la situation du niveau géologique utile. On peut ainsi extraire et produire des granulats avec des roches éruptives, des roches métamorphiques et des roches sédimentaires consolidées (calcaires...).

Ces types de granulats sont obtenus par concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de pré-criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent de l'origine de la roche. On peut distinguer entre autres :

- Roches sédimentaires consolidées telles que les calcaires ou les grès. On les exploite dans les bassins sédimentaires et dans les régions montagneuses.
- Roches métamorphiques dures telles que les quartzites ou les gneiss. Elles affleurent plus particulièrement dans les massifs montagneux anciens.
- Roches éruptives anciennes. Il s'agit de roches plutoniques à cristaux plus ou moins développés (granites, diorites, micro-diorites, gabbros...) ou de roches volcaniques (rhyolites...), exploitées dans les massifs montagneux anciens avec une répartition géographique analogue à celle des roches.
- Roches volcaniques récentes telles que le basalte, le trachyte ou l'andésite ; roches épanchées par le volcanisme récent du massif central [8].

2.4.3.4. Granulats issus de la transformation :

Les granulats de transformation sont souvent d'origine minérale résultant d'un procédé de transformation industriel comprenant des modifications thermiques (cuisson) ou chimiques. Dans

cette catégorie se rangent les granulats légers transformés, comme l'argile expansée (Figure 2.2a), le schiste expansé (Figure 2. 2b).



Figure 2. 2Illustration des granulats expansés.[8]

2.4.3.5. Granulats de recyclage :

Les granulats recyclés sont des déchets et des sous-produits industriels utilisables dans le secteur du bâtiment. Ils répondent simultanément au souci d'économie des ressources naturelles. Ces granulats sont donc obtenus par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments [8].

2.5. Différents types du béton :

On distingue trois types de béton selon son les applications structurales:

- Béton non armé
- Béton armé
- Béton précontraint. [7]

2.5.1. Béton non armé (concrète) :

Il est employé pour les ouvrages travaillant surtout en traction (exemple : grands barrages massifs). La forme de l'ouvrage est alors étudiée pour solliciter le béton essentiellement en compression c'est face à cette sollicitation qu'il est le plus performant. On limite autant que faire se peut les contraintes de traction.[7]

2.5.2. Béton précontraint (prestesse concrète) :

Il s'agit de structures dans lesquelles les armatures sont mises en tension avant l'application de charges ; on met ainsi le béton en compression. Cela lui permet de mieux résister aux contraintes de traction.[7]

2.5.3. Béton armé (renforce concrète) :

Il est utilisé pour les cas où la structure est aussi sollicitée en traction. Les armatures métalliques sont disposées dans les zones sollicitées en traction. Elles permettent de suppléer le béton qui est lui très mauvais en traction.[7]

2.6. L'objectif du béton armé :

On peut citer quelques objectifs nécessaires pour le choix du béton armé:

- Choix des formes
- Capacité portante élevée
- Bonne durabilité
- Bonne résistance au feu
- Économique

Évidemment le béton armé présente des inconvénients :

- Poids propre élevé
- Faible isolation thermique
- Esthétique discutable

Le principe sera de combiner les avantages du béton avec ceux de l'acier, tout en minimisant les défauts des deux matériaux.

Béton :

- Bonne résistance en compression
- Mauvaise résistance en traction
- Peu cher.[7]

2.7. Caractéristiques physiques et mécaniques du béton :

2.7.1. Masse volumique :

- La masse volumique des bétons courants est comprise entre 2200 et 2400 kg/m³ ($2200 \leq \zeta \leq 2400$ kg/m³).
- La masse volumique béton à granulats légers $\rightarrow 700 \leq \zeta \leq 1500$ kg/m³.
- La masse volumique béton à granulats lourds $\rightarrow 3500 \leq \zeta \leq 4000$ kg/m³.
- La masse volumique du béton armé $\rightarrow \zeta = 2500$ kg/m³. [9]

2.7.2. Déformations différées du béton :

2.7.2.1. Retrait : C'est le raccourcissement du béton non chargé au cours de durcissement, il est dû à l'évaporation de l'eau de gâchage en excès non combinée au ciment. Le retrait est susceptible de provoquer des déformations de l'ordre de 0,2 à 0,5 mm par mètre.

Le retrait augmente si l'élément est fin et si la quantité du ciment augmente, et aussi plus le climat est sec plus il y'a du retrait.

2.7.2.2. Fluage : Le fluage est l'accroissement des déformations relatives dans le temps sous charges constantes. Le fluage augmente avec la quantité d'eau ajoutée et la sécheresse de l'eau, il diminue si le dosage en ciment augmente et avec l'âge de l'échantillon à l'essai.[9]

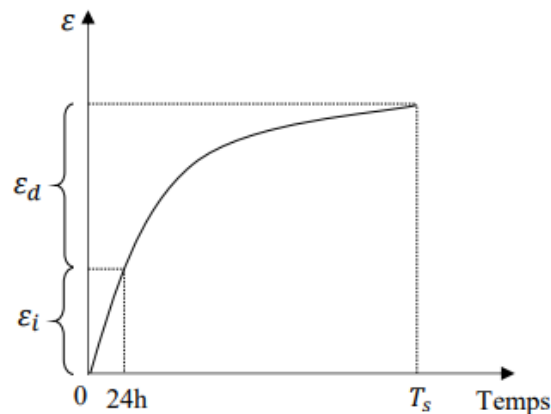


Figure 2. 3 Évolution temporelle de la déformation totale (déformation instantanée et différée)

ϵ_i : Déformation instantanée sous les charges appliquées.

ϵ_d : Déformation différée sous charge constante.

$$\epsilon_d = 2 \epsilon_i$$

2.7.2.3. Déformations du béton sous actions courtes (durée < 24 H) :

a) Résistance à la compression : Un béton est défini par la valeur de sa résistance à la compression à l'âge de 28 jours dite valeur caractéristique requise (spécifiée).

L'essai de compression est effectué sur des cylindres en béton comme suit :

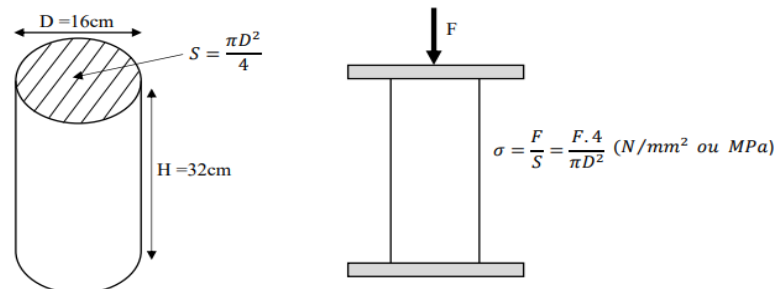


Figure 2. 4 Essai de compression sur un cylindre en béton

La courbe suivante montre l'évolution de la résistance du béton à la compression dans le temps :

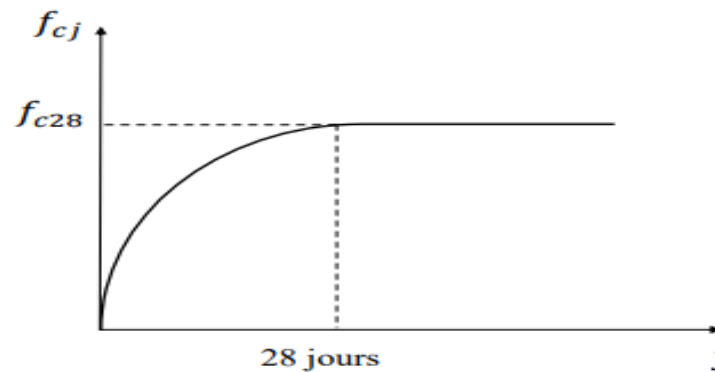


Figure 2. 5 Évolution de la compression du béton en fonction du temps

- f_{cj} : La résistance à la compression à 'j' jour

- f_{c28} : La résistance à la compression à '28' jour ; C'est la résistance caractéristique du béton.[9]

b) Résistance à la traction : La résistance caractéristique à la traction du béton à j jours notée et conventionnellement définie par la relation :

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06f_{cj}$$

La résistance à la traction du béton est inférieure à sa résistance à la compression à un rapport de $\frac{1}{12}$ à $\frac{1}{13}$ pour un béton courant, donc est négligée dans le calcul des ouvrages en béton armé.[9]

2.7.2.4. Déformations longitudinales du béton :

a) Module d'élasticité du béton (Module de YOUNG) : Sous les contraintes normales, on distingue des modules de Young instantanés (E_{ij}) et le module de Young différé (E_{vj}), le premier est utilisé pour les calculs sous chargements instantanés (le temps de chargement $< 24H$), et pour les chargements de longues durées on utilise le module de Young différé qui prend en compte les déformations de fluage du béton.[9]

- Le module instantané : $E_{ij} = 11000(f_{cj})^{1/3}$ avec : $f_{cj} = f_{c28} \leq 60MPa$

- Le module différé est prise $1/3$ du module instantané :

$$E_{vj} = \frac{1}{3} E_{ij} = 3700(f_{cj})^{1/3}$$

b) Coefficient de poisson : Lorsqu'on soumet une éprouvette de béton de longueur l à des efforts de compression, il se produit non seulement un raccourcissement longitudinal Δl mais également un gonflement transversal. Si a est la dimension initiale du côté de l'éprouvette, cette dimension devient $a + \Delta a$ après le gonflement.[9]

On appelle le coefficient de poisson : $\nu = \frac{\Delta a/a}{\Delta l/l}$

- $\nu = 0,2$; Lorsque le béton n'est pas fissuré c.-à-d. à l'Etat Limite de Service (E.L.S).
- $\nu = 0$; Dans le contraire c.-à-d. à l'Etat Limite Ultime (E.L.U)

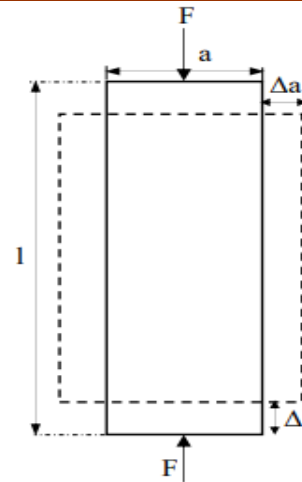


Figure 2. 6 Déformation d'un parallèle pipé de sous l'effet d'une force oblique.

2.8. Diagramme contrainte-déformation du béton :

2.8.1. Diagramme expérimental (réel) : Lorsque une éprouvette en béton est soumise à un test de compression l'allure de la courbe de comportement (σ , ϵ) a la forme suivante[9] :

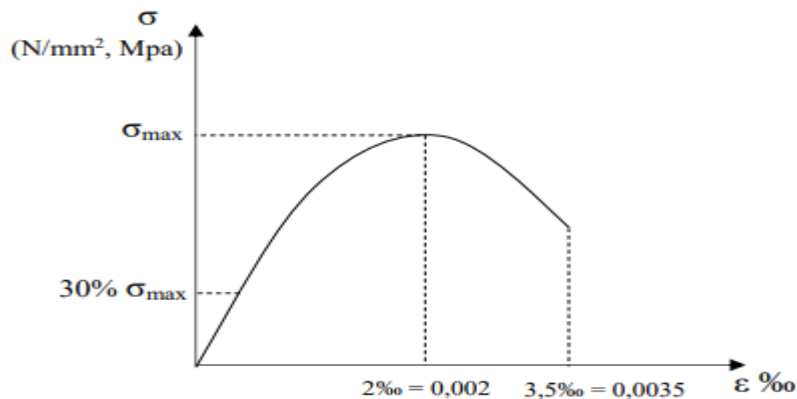


Figure 2. 7 Diagramme contrainte-déformation simplifié du béton en compression

Pour les bétons utilisés en pratique, les remarques suivantes :

- Jusqu'à 30% de la contrainte maximale $\sigma_{\max}$, la courbe (σ , ϵ) est linéaire.
- A la contrainte maximale $\sigma_{\max}$, la déformation $\epsilon = 2\text{‰} = 0,002$
- Le béton commence à se désintégrer quand la déformation dépasse 3,5‰.

2.8.2. Diagrammes contraintes-déformations de calcul :

2.8.2.1. Modèle de calcul à l'état limite de service (E.L.S) :

Le béton est supposé resté dans le domaine élastique (pas de fissures), et on adopte donc le diagramme élastique linéaire suivant [9] :

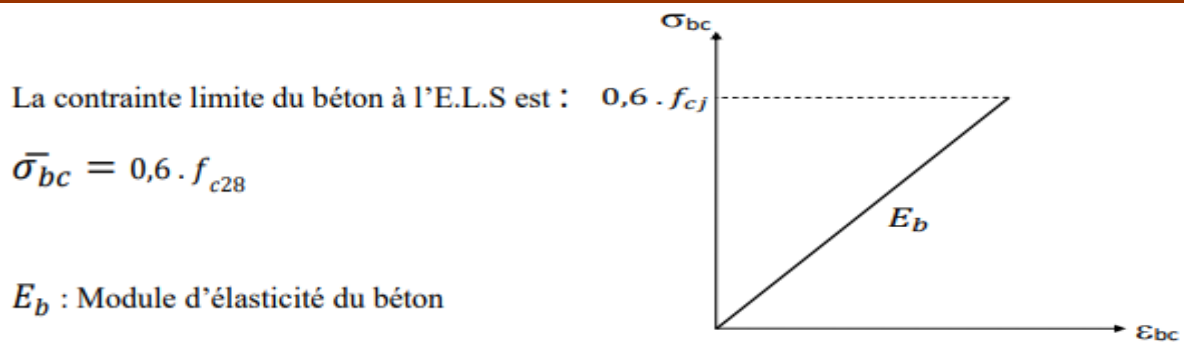


Figure 2. 8 Modèle linéaire de comportement du béton en compression avant la rupture

2.8.2.2 Modèle de calcul à l'état limite ultime (E.L.U) :

Pour les calculs à l'E.L.S, le comportement réel du béton est modélisé par la loi 'parabole-rectangle' qui est représenté dans le diagramme suivant :

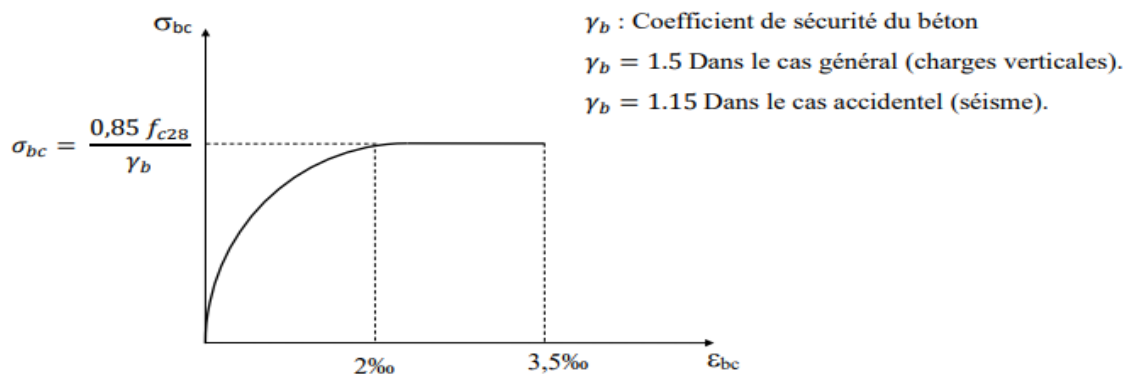


Figure 2. 9 Modèle de comportement du béton en compression de longue durée.[9]

2.9. Notions de sollicitations :

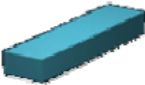
Traction / Compression	Flexion
	
Torsion	Cisaillement
	

Tableau 2. 2 Présente une Notions de sollicitations

2.9.1 SOLLICITATIONS SIMPLES ET COMPOSÉES :

Sollicitations simples : Torseur de cohésion comprenant une seule sollicitation.

Sollicitations composées : Torseur de cohésion comprenant plusieurs sollicitations simples (Traction + flexion par exemple).

Sollicitations	Effort normal	Effort tranchant	Moment de torsion	Moment de flexion	
Traction/compression	N	T = 0	M _t = 0	M _f = 0	
Cisaillement (1)	N = 0	T	M _t = 0	M _f = 0	
Torsion	N = 0	T	M_t	M _f = 0	
Flexion pure (2)	N	T = 0	M _t = 0	M_f	

Tableau 2. 3 Les différents sollicitation

(1) Suivant l'orientation des sollicitations, l'effort Ty ou Tz peut être nul.

(2) Suivant l'orientation des sollicitations, le moment Mfy ou Mfz peut être nul.[10]

2.10. Résistance caractéristique à la compression :

Cette résistance mécanique du béton est souvent désignée par la valeur caractéristique requise ou spécifié notée f_{c28} exprimé en Méga Pascal (MPa). Elle est choisie en fonction des conditions de fabrication du béton, de son dosage et aussi de la classe du ciment utilisé.

La classe du béton est souvent symbolisée en « B f_{c28} ». La résistance à la compression à j jours s'obtient à partir de cette valeur, dont les formules de calculs sont les suivants[10]:

$$f_{c28} < 40 \text{ MPa}$$

$$f_{c28} > 40 \text{ MPa}$$

$$\frac{j \cdot f_{c28}}{4.76 + 0.83j} \quad \frac{j \cdot f_{c28}}{1.40 + 0.95j}$$

2.11. Résistance caractéristique à la traction :

Le béton possède une faible résistance à la traction contrairement à celle de la compression. Sa résistance caractéristique à la traction, noté f_{t28} est définie par la relation suivante[10] :

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06 \cdot f_{c28}$$

f_{c28}	20	25	30	35	40
$f_{t28} \text{ (en MPa)}$	1,8	2,1	2,4	2,7	3

Tableau 2. 4 Valeurs courantes de f_{t28} en fonction de f_{c28}

2.12. TRACTION ET COMPRESSION :

Ces deux sollicitations simples sont distinctes et un certain nombre de matériaux ont un comportement différent en extension et en compression (par exemple, la fonte grise). Cependant dans les deux cas nous arriverons aux mêmes relations de contraintes et de déformations.

Dans un grand nombre d'applications l'une de ces sollicitations sur une pièce entraîne l'autre sollicitation.[12]

2.12.1. Définitions :

Un solide est sollicité :

-**En traction simple** lorsqu'il est soumis à deux forces directement opposées situées sur la ligne moyenne et qui tendent à l'allonger.

-**En compression simple** lorsqu'il est soumis à deux forces directement opposées situées sur la ligne moyenne et qui tendent à le raccourcir.[11]

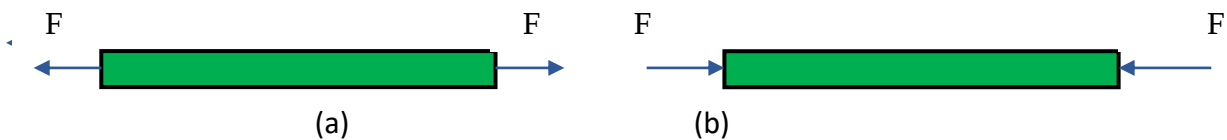


Figure 2. 10 illustration les deux sollicitations ; a) traction simple et b) compression simple

2.13. EN FLEXION SIMPLE :

2.13.1. Définitions et hypothèses :

La flexion est la déformation d'un objet qui se traduit par une courbure. Dans le cas d'une poutre, elle tend à rapprocher les deux extrémités de la poutre.

En théories des poutres, on considère des fibres, c'est-à-dire des petits cylindres de matières générés par une portion et une courbe parallèle à la courbe moyenne (la « direction de la poutre ») ; la courbe moyenne passe par les centres de gravité des sections droites (sections perpendiculaires à la courbe moyenne). La fibre générée par la courbe moyenne est appelée « fibre neutre ». Elle garde sa longueur lors de la flexion.

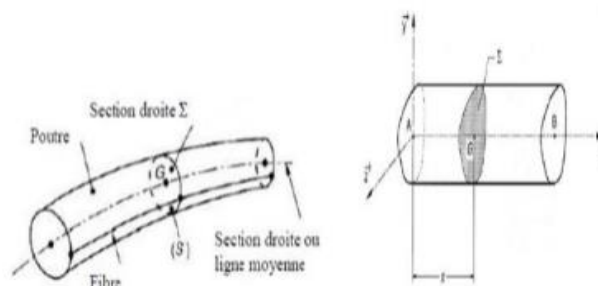


Figure 2. 11 Fibre neutre de section d'une poutre quelconque

Chapitre 2 GÉNÉRALITÉS SUR LES POUTRES EN RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

Une poutre est sollicitée en flexion simple quand toutes les forces appliquées à la poutre que ce soient les forces à distance ou les forces élémentaires de liaison sont perpendiculaires à la ligne moyenne, et soit situées dans le plan de symétrie, soit réparties symétriquement par rapport à celui-ci, ou concentrées en un point ou réparties suivant une loi.[7]

2.14. LE CISAILLEMENT :

2.14.1. Définition : Une poutre est sollicitée au cisaillement simple lorsqu'elle est soumise à deux forces directement opposées, perpendiculaire à la ligne moyenne, et qui tendent la cisailer.[13]

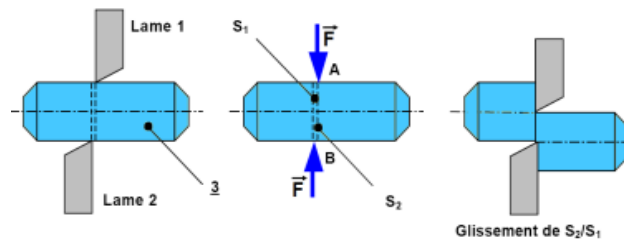


Figure 2. 12 un modèle de poutre soumise a des déférents types de cisaillement [13]

Dans le cas de la sollicitation en traction, le torseur des efforts de cohésion s'explicite selon :

$$[\tau]_G = \begin{bmatrix} T \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ T_y & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2.15. TORSION :

2.15.1. Définition :

Une poutre est sollicitée en torsion simple lorsqu'elle est soumise à ses deux extrémités à des liaisons dont les torseurs associés se réduisent à deux torseurs couples opposés dont les moments sont parallèles à l'axe de la poutre.[13]

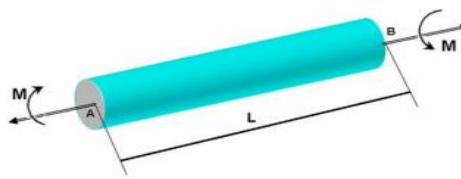


Figure 2. 13Illustration de torsion [13]

2.15.2. Torseur associé aux forces de cohésion :

Le torseur associé aux forces de cohésion est donné par :

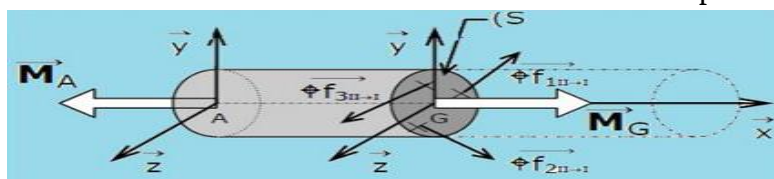


Figure 2. 14 Illustration de torseur associé aux forces de cohésion [13]

Chapitre 2 GÉNÉRALITÉS SUR LES POUTRES EN RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

Dans un système d axes Gxyz, on a :

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} 0 & M_{tx} \\ T_y & 0 \\ 0 & 0M_{tz} \end{bmatrix}$$

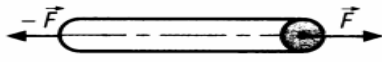
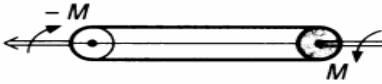
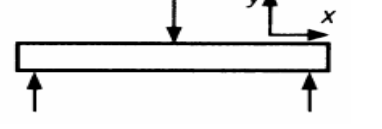
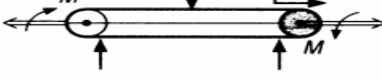
Remarque :

$$N = 0, T_y = 0, T_z = 0$$

$$M_{tx} \neq 0, M_{ty} = 0, M_{tz} = 0$$

EN CONCLUSION LES DIFFERENTS TYPES DE SOLLICITATION SONT[10]:

Tableau 2. 5 illustration les deux sollicitations ; a) traction simple et b) compression simple

Traction ou Extension / Compression		$_{Gs}\{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} N & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_R$
CISAILLEMENT		$_{Gs}\{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ T_y & 0 \\ T_z & 0 \end{Bmatrix}_R$
Torsion		$_{Gs}\{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} 0 & Mt \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_R$
Flexion pure		$_{Gs}\{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & Mfz \end{Bmatrix}_R$
Flexion simple		$_{Gs}\{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ T_y & 0 \\ 0 & Mfz \end{Bmatrix}_R$
Flexion + torsion		$_{Gs}\{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} 0 & Mt \\ T_y & 0 \\ 0 & Mfz \end{Bmatrix}_R$

2.16. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons posé les bases essentielles pour l'étude des poutres en résistance des matériaux. Nous avons défini ce qu'est une poutre, ses principales fonctions dans les structures, ainsi que les types courants de sollicitations auxquelles elle peut être soumise (traction, compression, flexion, cisaillement, torsion). L'analyse des poutres permet de déterminer les efforts internes (efforts tranchants, moments fléchissant) et les contraintes qui en résultent, afin de garantir la sécurité et la stabilité des structures.

La compréhension du comportement des poutres est donc un élément fondamental en ingénierie, car elle permet d'optimiser les dimensions, les matériaux, et les assemblages des structures mécaniques et civiles. Les outils développés dans ce chapitre serviront de base pour les études plus avancées portant sur la flexion simple, la déformation, la stabilité des poutres.

CHAPITRE

3

3 CRÉATION ET PRÉSENTATION DU MODÈLE NUMÉRIQUE

3.1. INTRODUCTION :

L'avenir est à l'outil numérique et à la réalité virtuelle ; la simulation et l'analyse numérique se sont développées ces dernières années dans la recherche industrielle privée ou publique (constructeurs automobile, aéronautique, spatial...) améliorant ainsi la productivité des industriels et la vie de tous les consommateurs. [14]

La solution d'analyse par éléments finis optimise le prototypage virtuel et la simulation numérique pour l'entreprise en utilisant les hypothèses de la mécanique de la rupture en élasticité et de la dynamique. Ainsi, elle simule et améliore les performances.

La simulation et l'analyse numérique ont un impact direct sur la qualité des composants, des matériaux et des produits sujets à de fortes exigences opérationnelles (sécurité, endommagement...) et sur le temps de mise sur le marché des produits ; de plus, elles accroissent les performances des solutions de gestion du cycle de vie du produit. Elles sont apparues dans le désir de minimiser le coût d'une étude avec un nombre d'essais optimisés. La difficulté est de créer un modèle C.A.O. se rapprochant au maximum de la réalité (matériaux, conditions aux limites...). L'étude ne sera validée qu'à partir d'essais physiques entraînant des mesures pour la comparaison entre la réalité et la simulation (crash test...).

D'un point de vue technique, les résultats obtenus grâce à ABAQUS sont le bilan des énergies, des forces nodales, des déformations, des déplacements, des contraintes, des vitesses, des accélérations et de toutes les grandeurs physiques nécessaires à la conception d'un modèle.

ABAQUS est un code de calcul par la méthode des éléments finis créé en 1978. Il est avant tout un logiciel de simulation de problèmes très variés en mécanique. Simuler la réponse physique des structures soumises à des chargements, des températures, des impacts ou autres conditions extérieures, c'est connu et répandu, en particulier pour ses traitements performants de problèmes non linéaires. [15]

3.2. ASPECTS GÉNÉRALES SUR LA MODÉLISATION NUMÉRIQUES

3.2.1. La méthode des éléments finis :

C'est la méthode de calcul et de simulation la plus utilisée au sein du génie américain, civil, aérospatial, des matériaux... Elle permet d'approximer avec une précision arbitraire une multitude

de problèmes en mécanique des solides : élastiques et inélastiques, stationnaires et transitoires, linéaires et non linéaires. Parmi les codes utilisés en éléments finis, certains sont disponibles sur le marché commercial : Abaqus, Ansys, Nastran, Adina, LS-Dyna, etc. [1]

3.2.2. Avantages et inconvénients de la méthode des éléments finis [NGA 04] :

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

Ces avantages sont essentiellement les suivants :

- La puissance de la méthode des éléments finis réside essentiellement dans sa généralité et sa souplesse ;
 - Elle peut être applicable à une variété de problèmes physiques. La géométrie du domaine peut être quelconque, les forces et les conditions aux limites peuvent être aussi de nature quelconque ;
 - Le maillage peut combiner autant de types d'éléments que l'on souhaite ;
- 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 méthode des éléments finis réside dans le fait que le modèle qu'elle utilise est très proche de la structure réelle ;

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 ;
 - L'expérience et un grand sens de l'ingénieur sont indispensables à la définition d'un bon modèle ;
- La plupart des problèmes comportent un grand nombre de données et une foule de résultats qu'on doit dépouiller avec méthode pour une compréhension optimale. [16]

3.2.3. CARACTERISTIQUES D'UN ÉLÉMENT FINI :

3.2.3.1. 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 :

3.2.3.2. Géométrie : un élément fini peut être un segment de droite ou de courbe, triangle 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.

3.2.3.3. Matériau : le matériau de l'élément est défini par une loi de comportement (loi de Hooke isotrope, ...etc.).

3.2.3.4. Nœuds : les nœuds définissent la géométrie et assurent la connexion des éléments les uns aux autres. Ils occupent les sommets, les extrémités, les milieux des arêtes et faces...etc.

3.2.3.5. Degrés de liberté : la fonction d'approximation (en général le champ de déplacements ou champ de potentiels) est exprimée en fonction des valeurs particulières qu'elles prennent aux nœuds, valeurs qui deviennent les inconnues nodales. L'union, par leurs degrés de liberté nodaux communs des différents éléments adjacents, permet de reconstituer la solution complète (assemblage) tout en veillant à respecter certaines règles, dites critères de convergence.

3.2.3.6. 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.[16]

3.2.4. Type des éléments :

On peut classer, les différents types d'éléments finis suivant leur géométrie (Tableau.3.1) comme suit :

-Les éléments unidimensionnels: barres, poutres rectilignes ou courbes utilisées de façon individuelle ou associées à des plaques pour modéliser les raidisseurs dans un voile;

Les éléments bidimensionnels: élasticité plane, plaque en flexion, coques courbes, de forme triangulaire ou quadrangulaire ;

Les éléments tridimensionnels : éléments de volume ou coques épaisses ;

Les éléments axisymétriques: qui constituent une classe bien particulière : tores à section triangulaire ou quadrangulaire, coques coniques ou méridienne courbe.[16]

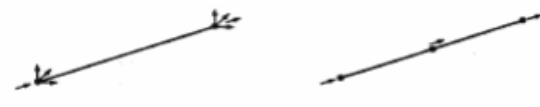
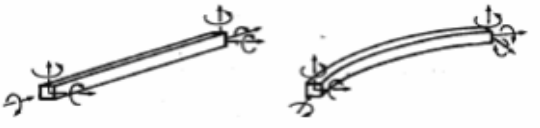
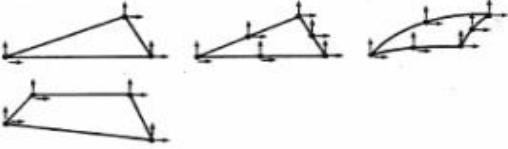
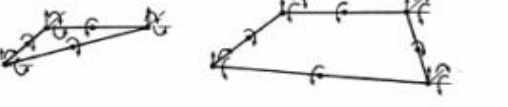
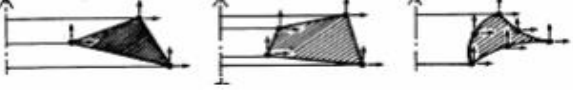
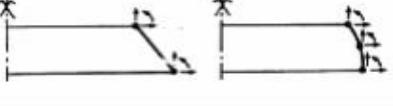
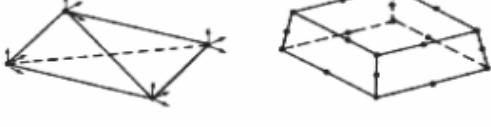
CLASSE	NOM	GÉOMÉTRIE
1 D.	Barre	
	Poutre	
2 D.	Elasticité 2D membranes	
	plaques en flexion	
	Coques	
AXISYM.	Tores axisymétriques	
	Coques axisymétriques	
3 D.	Volume	
	Coque épaisse	

Tableau 3. 1 Types des éléments finis [BAT 90a]

3.2.5. Choix des éléments finis:

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[16] :

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

3.2.6. Qualité d'un élément fini:

Un bon élément fini doit réunir les propriétés suivantes[16] :

- Aucun défaut de base (mécanisme...) ;
- Convergence rapide ; - Bonne précision, déjà dans un maillage grossier ;
- Qualités de convergence et précision conservée pour une distorsion raisonnable ;
- Vecteurs forces consistants ;
- souplesse d'emploi ;
- Connexion (conforme) possible avec d'autres modèles ;
- Dérivation théorique simple et claire ;
- Programmation efficace et limpide.

3.3. DÉFINITION DU LOGICIEL ABAQUS:

ABAQUS est un programme de calcul des éléments finis (MEF) développés par ABAQUS, Inc (Dassault Systèmes). Il se compose de trois produits :

- ABAQUS / Résolution standard : par un algorithme statique implicite.
- ABAQUS / Explicit : résolution par un algorithme dynamique explicite.
- ABAQUS / CAE : constitue une interface intégrée de visualisation et de modélisation pour les solveurs.

Chacun de ces produits est complété par des modules additionnels et / ou optionnels, spécifiques à certaines applications.[17]

3.4. CARACTÉRISTIQUES DE LOGICIEL ABAQUS :

Description succincte des possibilités d'ABAQUS.[18]

- Analyses.
- Éléments.
- Linéarités.

Type d'analyse :

Domaines physiques [18] :

- Mécanique.
- Thermique.
- Electrique (Pièze et thermique)
- Problèmes couplés.
- Une bibliothèque de matériaux de pointe, y compris l'habituel élastique et solide plastique,

Élastique ; modèles pour les mousses, le béton, les sols, les géo synthétiques.

3.5. PROBLÈMES :

- Statique et dynamique.
- Linéaires et non linéaires.
- Dynamique des corps rigides.[18]

3.6. LES ÉLÉMENTS UTILISÉS PAR ABAQUS :

Le code de calcul ABAQUS dispose d'une multitude de types d'éléments qui diffèrent par leurs propriétés d'interpolation.

On distingue différentes grandes classes d'éléments dans le tableau suivant :

Type d'élément	Description	Exemples / Formes
1D (Unidimensionnel)	Élément linéaire avec une seule dimension dominante	Barre, poutre (droite ou courbe)
2D (Bidimensionnel)	Élément avec deux dimensions dominantes	Élasticité plane (contrainte ou déformation), plaque, coque
3D (Tridimensionnel)	Élément avec trois dimensions	Tétraèdre, hexaèdre (cube), prisme...
Axisymétriques	Élément ayant une symétrie de révolution (géométrie et chargement)	Pièces circulaires (ex: réservoirs, tuyaux sous pression)
Autres éléments	Éléments spéciaux utilisés dans certains cas	Ressorts, amortisseurs, éléments rigides

Tableau 3. 2 Différentes grandes classes d'éléments [19]

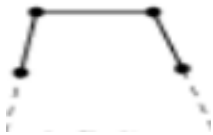
Différents types des éléments	Le nome des éléments dans Abaqus
	Éléments continus (solides et fluides).
	Éléments de coque.
	Éléments de poutre.
	Éléments rigides.
	Éléments infinis.
	Éléments de membrane.
	Éléments de ferme.
	Éléments de connecteur tels que ressorts et amortisseurs.

Tableau 3. 3 Quelques éléments les plus utilisés

3.7. RÉALISATION D'UNE SIMULATION NUMÉRIQUE:

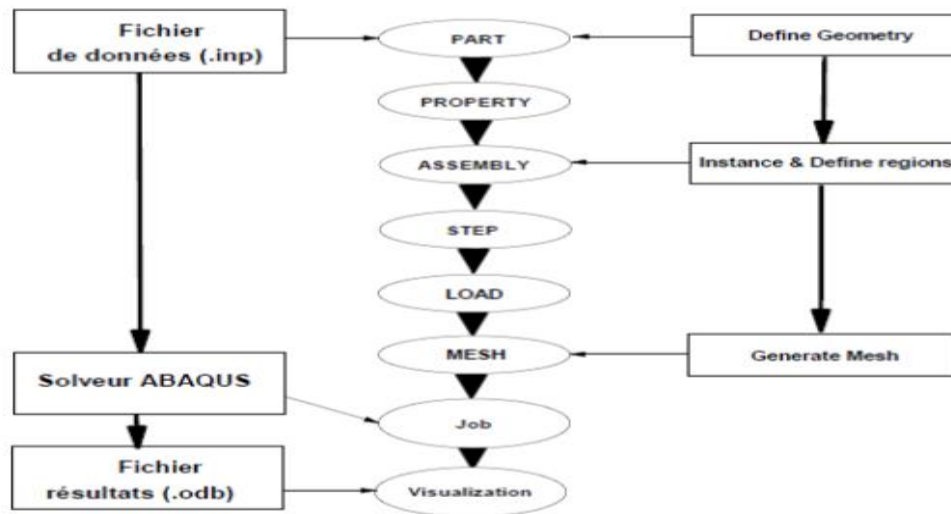


Figure 3. 1 Étapes à suivre pour la programmation

La résolution complète d'un calcul numérique s'effectue après un passage successif dans les modules suivants :

Part, Property, Assembly, Step, Interaction, Load, Mesh, Job (pour lancer le calcul).[18]

3.8. FICHIERS CRÉÉS PAR ABAQUS LORS DE LA SIMULATION:

Dans le code de calcul Abaqus, le fichier de données décrit les géométries, les matériaux, les conditions aux limites avec une extension (.inp), et le fichier de résultats décrit les contours et les courbes résultats avec l'extension (.odb). [20]

3.8.1 Autres fichiers

Fichier .com : exécutable de vos calculs

Fichier .res : fichier binaire de reprise

Fichier. Données : liste des résultats, résumé de votre modélisation

Fichier .msg : résumé du déroulement du calcul en cours, message d'erreur

Fichier .fil : fichier binaire des résultats

Fichier .log : fichier de procédure

Fichier .sta : fichier statistique... etc. [15]

3.8.2. Systèmes d'unités dans le logiciel ABAQUS:

Avant de commencer à définir un modèle, vous devez choisir le système d'unités que vous utiliserez. ABAQUS n'a pas de système intégré d'unités. Toutes les données d'entrée doivent être spécifiées dans des unités cohérentes dans les résultats qui suivent le système d'unité et sont basées sur le SI (mm). [21]

Quantité	SI	SI (mm)	US Unit (ft)	US Unit (inch)
Longueur	m	mm	ft	In
Force	N	N	lbf	Lbf
Masse	Kg	tonne (10^3 kg)	slug	Lbf s ² / in
Temps	s	s	s	S
Contrainte	Pa (N/m ²)	MPa (N/mm ²)	Lbf / ft ²	Psi (lbf / in ²)
Energie	J	mJ (10^{-3})	ft lbf	in lbf
Masse volumique	Kg/m ³	tonne / mm ³	slug / ft ³	Lbf s ² / in ⁴

Tableau 3. 4 Systèmes unités dans ABAQUS

3.9 ORGANISATION DE L'INTERFACE ABAQUS CAE (COMPLÈTE ABAQUS ENVIRONNEMENT):

Il est important de savoir que le module CAE figure 3.2 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. [15]

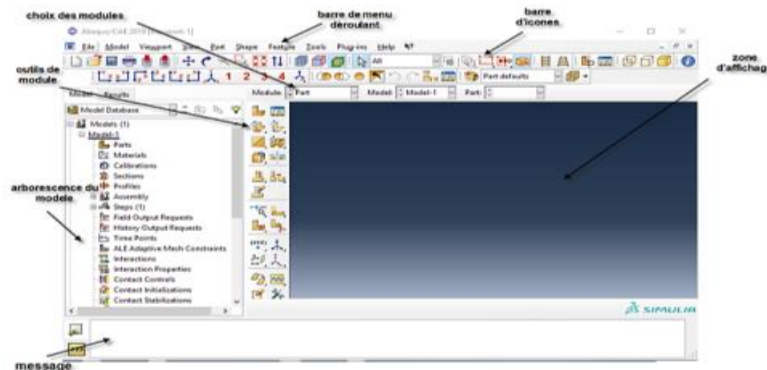


Figure 3. 2 L'interface d'abaqus

3.10. PRÉSENTATION DU MODÈLE:

Le modèle de notre travail considéré a des dimensions, comme l'illustre la figure (3.3). La structure en béton armé avec des propriétés mécaniques (voir les tableaux 4.2 et 4.3). Le maillage paramétrique est composé de 230 326 nœuds et de 210 673 éléments de brick linéaire à usage général, avec une intégration réduite (1 point d'intégration) de type (C3D8R), et a été utilisé pour faire la modélisation de la poutre et des plaques. En outre, les conditions aux limites de la modélisation du comportement linéaire de la poutre sont les suivantes : un appui fixe sur la plaque supérieure et le déplacement/rotation $U_2 = -0,001$; la bordure droite est bloquée par un encastrement $U_3 = U_{R1} = U_{R2} = 0$, et la gauche, $U_1=U_2=0$. Le COF=0,5 a été utilisé pour les interactions (contact) entre les pièces.

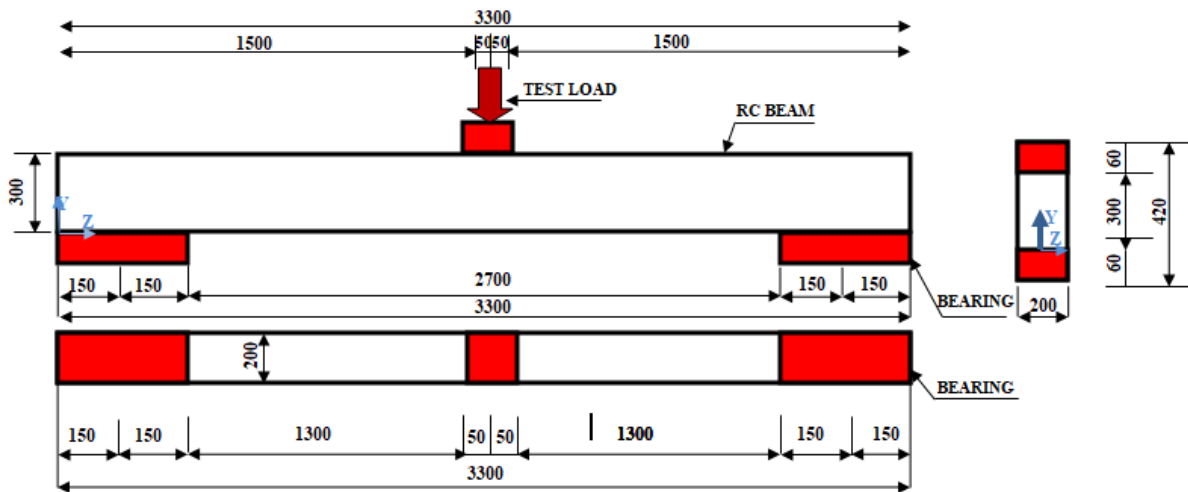


Figure 3. 3 Géométrie du modèle

3.11. PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX :

3.11.1. Caractéristiques mécanique des matériaux :

	Masse volumique Kg/m ³	Module d'young GPa	Coefficient de poisson
Béton	2400	28	0.2
Barres d'armature	7800	210	0.3
Acier	7800	210	0.3

Tableau 3. 5 Caractéristiques mécanique des matériaux

3.11.2. Plasticité du béton endommagée :

Angle de dilatation	Excentricité	Fb0/Fc0	k	Paramètre de viscosité
30	0.1	1.16	0.667	1.00E-05

Tableau 3. 6 illustre la plasticité du béton endommagée**3.11.3. Comportement compressif :**

	Limite d'élasticité GPa	Déformation inélastique
1	0.014	0
2	0.026	0.00105007
3	0.0384	0.00155751
4	0.0384	0.00210014
5	0.0396	0.00262517
6	0.0395	0.00280014
7	0.0392	0.0029751
8	0.0388	0.00315007
9	0.0382	0.00332503
10	0.0376	0.0035

Tableau 3. 7 Présentation du Comportement compressif**3.11.4. Comportement en traction :**

	Limite d'élasticité (GPa)	contrainte de fissuration
1	0.00350	0
2	0.00269	0.00179617
3	0.00157	0.00574776
4	0.00350	0.0125014

Tableau 3. 8 Présentation du Comportement en traction :

3.11.5. Barres d'armature en plastique :

	Limite d'élasticité (GPa)	Déformation plastique
1	0.275	0
2	0. 0.482	0.02

Tableau 3. 9 Barres d'armature en plastique**3.12. ÉTAPES DE LA CRÉATION UN MODÈLE (MODULES):**

La réalisation complète d'un jeu de données s'effectue après un passage successif dans les modules, figure3.4.[18]

**Figure 3. 4** Réalisation de la mise en données d'un problème**3.12.1. Module (part):**

PART ce module qu'est définie la géométrie des entités du modèle. Figure 3.6 et figure 3.7.

Elles comprennent à la fois les parties déformables et les parties rigides. Pour créer les créer, il faut utiliser l'icône de création en haut à gauche.

Il ne vous reste plus qu'à sélectionner convenablement :

L'espace de modélisation : 3D par exemple

Le type d'entité à générer : déformable

La forme de l'entité.

Dans tous les cas vous passez dans un autre environnement de type CAO où vous dessinez vos pièces.

Dans le cas d'un solide rigide, il est nécessaire de définir un point de référence. C'est en fait en ce point que sont définis les degrés de liberté du solide sur lesquels vous imposerez des conditions aux limites par la suite. Ceci se fait dans le menu Tools, grâce à la commande Référence point.[18]

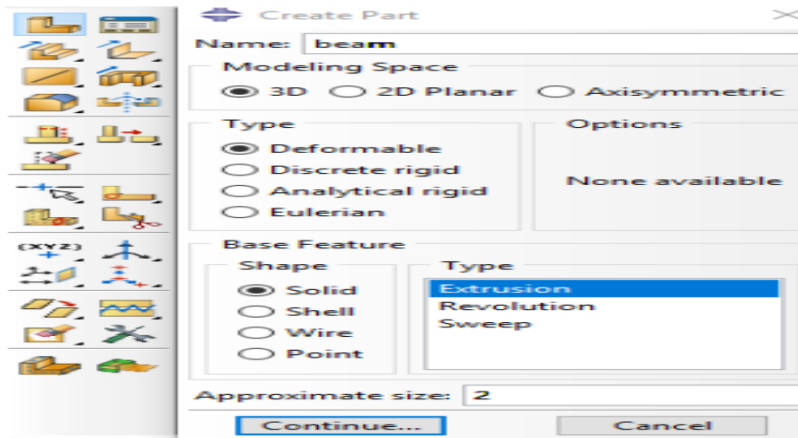


Figure 3. 5 Module part

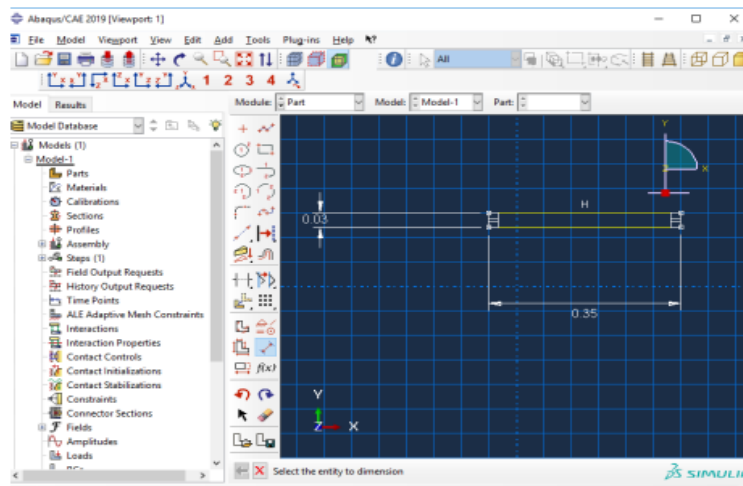


Figure 3. 6 Création de la géométrie

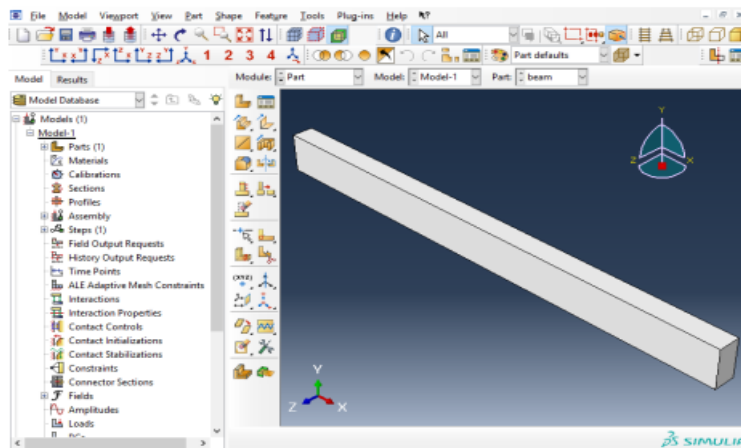


Figure 3. 7 Poutre

3.12.2. Module (Propriétés des matériaux):

On a défini les propriétés suivantes:

- Les propriétés concrete (Masse Densite).
- Les propriétés élastiques (Module De Young, Coefficient De Poisson).
- Les propriétés concrète damaged plasticity.

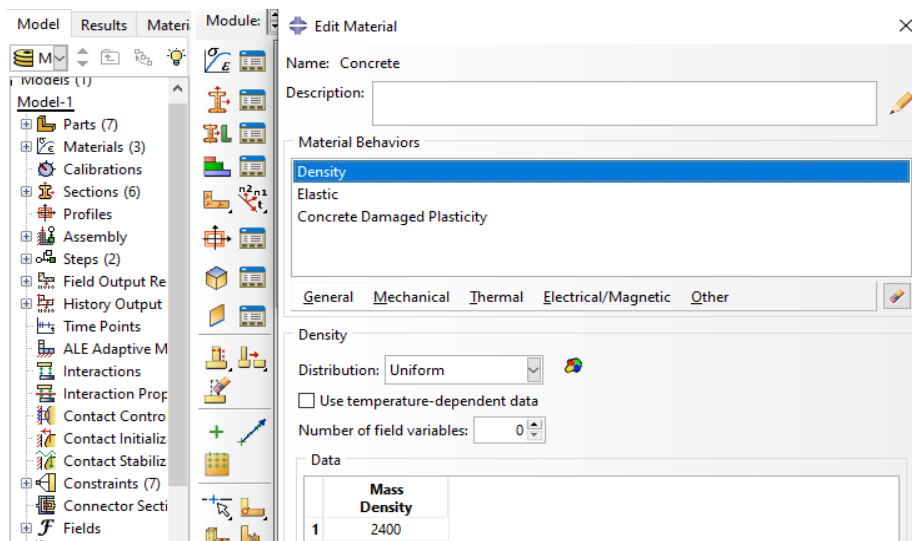


Figure 3. 8 Propriétés de béton

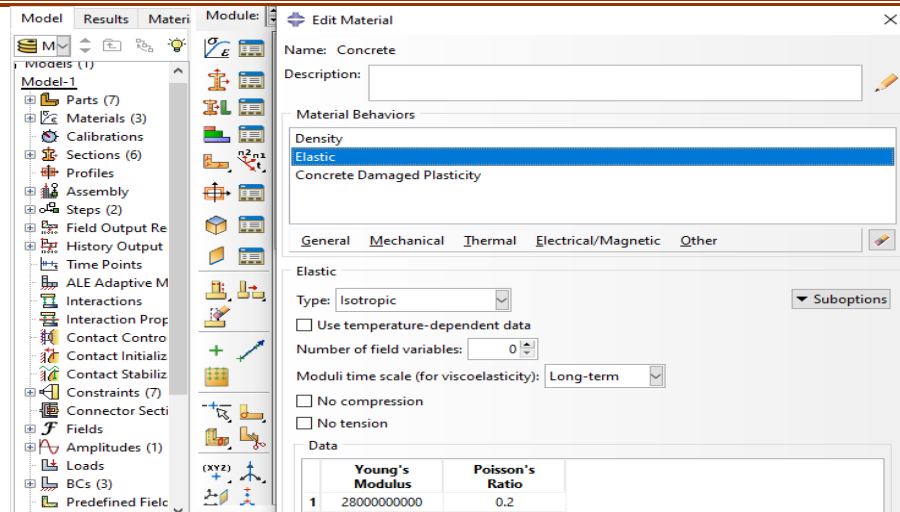


Figure 3. 9 Propriétés élastiques

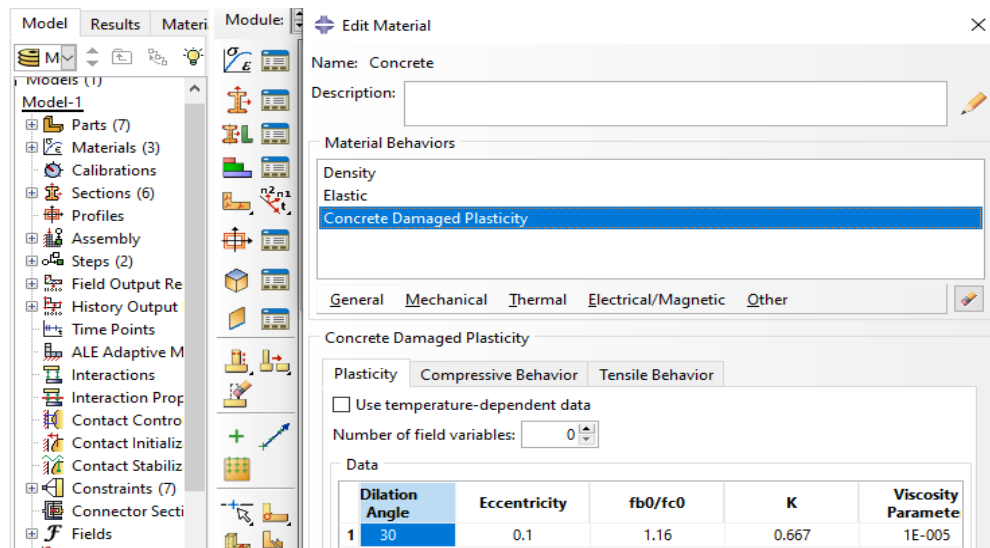


Figure 3. 10 Propriétés concrète (damaged plasticity)

3.12.3 Module (Assembly):

Dans cette partie, nous avons présenté les différentes pièces qui comportent le modèle de modélisation d'une poutre à des comportements linéaires, tels que la poutre, les deux plaques, les treillis et les armatures.

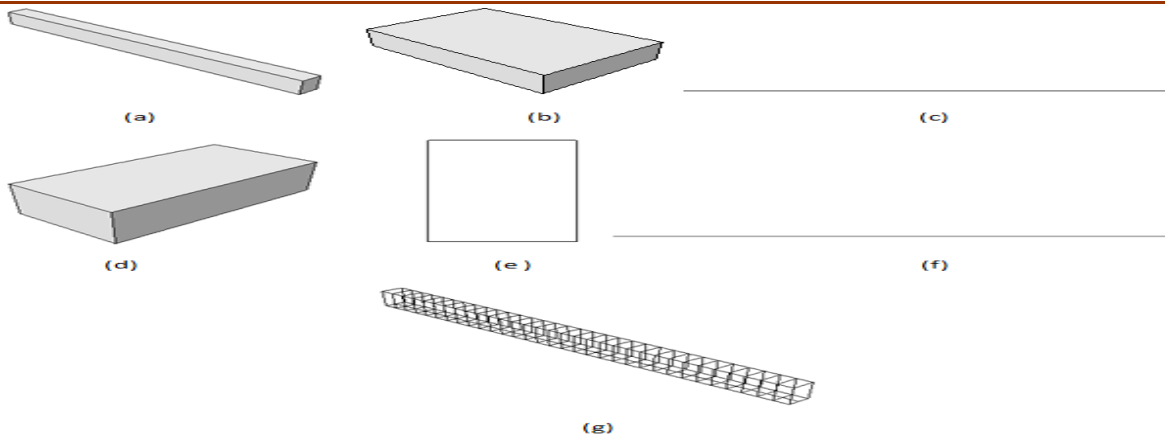


Figure 3.11 Les différentes parties de notre modèle; a)BEAM, b)BEARING, c)Compression Rebar, d)LOAD, e)Stirrup, f)Tension Rebar, g)REINFORCEMENT

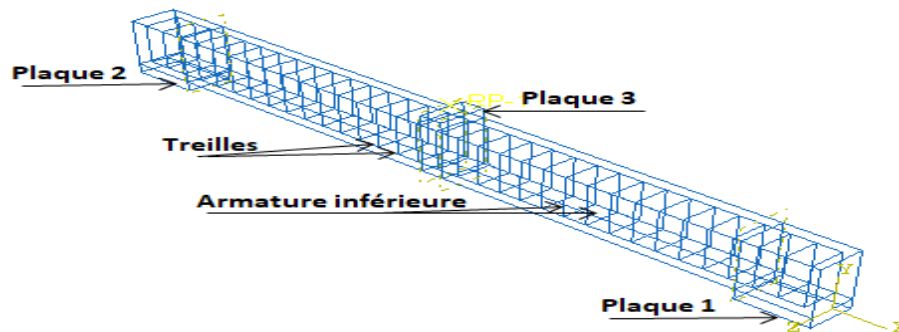


Figure 3.12 L'assemblage des différentes parties du modèle; plaques, treilles et armatures

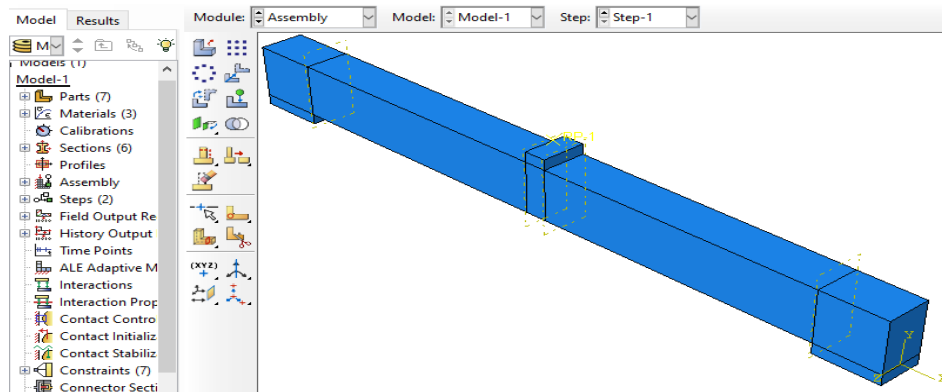


Figure 3.13 Instance et assemblage.

3.12.4. Module (Step):

C'est ici que vous choisirez, figure dans le cas d'études de crash ou d'impact, le module « Dynamic explicit ». Vous remarquerez au passage les nombreuses autres possibilités qui sont offertes par ce code de calcul.[15]

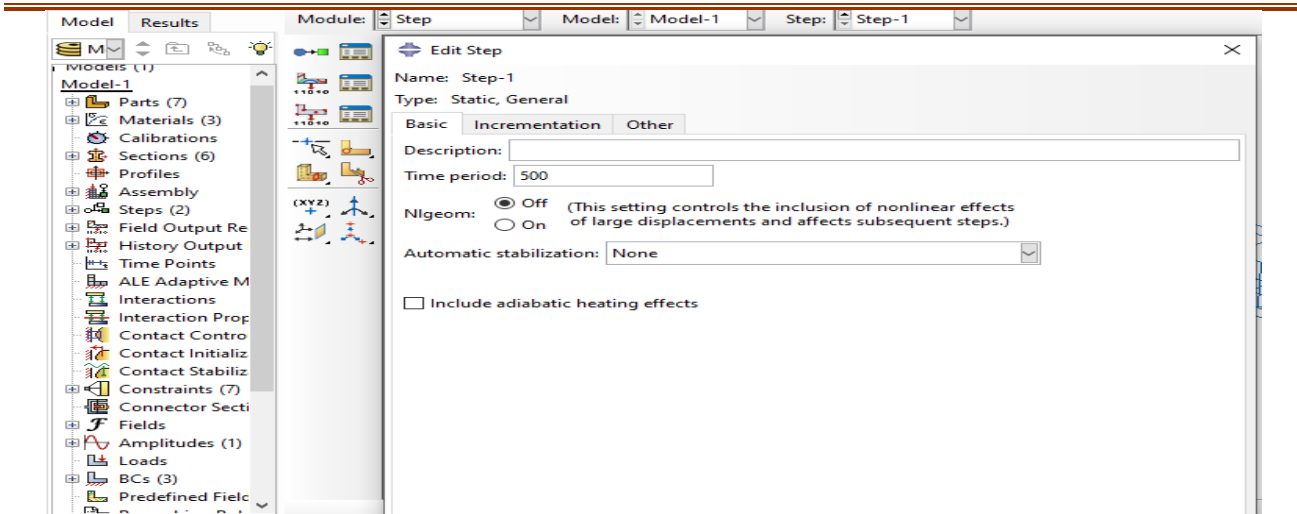


Figure 3. 14 création de step

3.12.5. Module (Interaction):

Grâce à 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 (figure). [15]

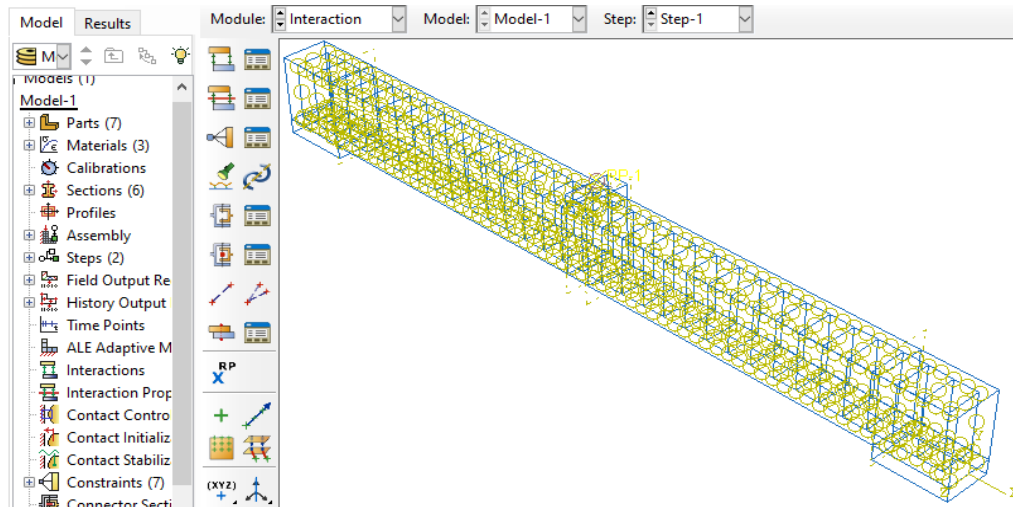


Figure 3. 15 Application des interactions mécaniques dans le modèle

3.12.6. Module (Load):

Le module Load permet de spécifier tous les chargements, conditions limites et champs. Figure 3.17 et 19. Il faut savoir que les chargements et les conditions limites sont dépendants des steps, par exemple une force est appliquée au step 1.[15]

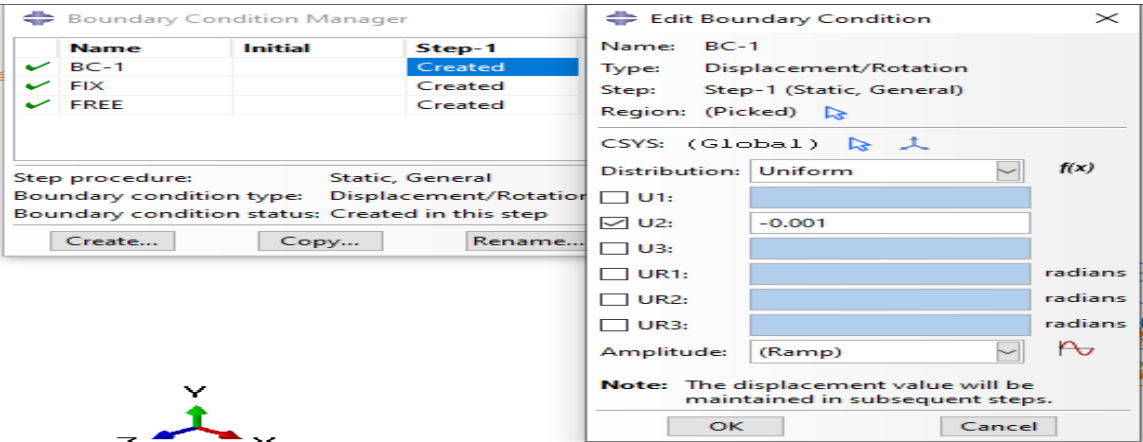


Figure 3. 16 Création de charge

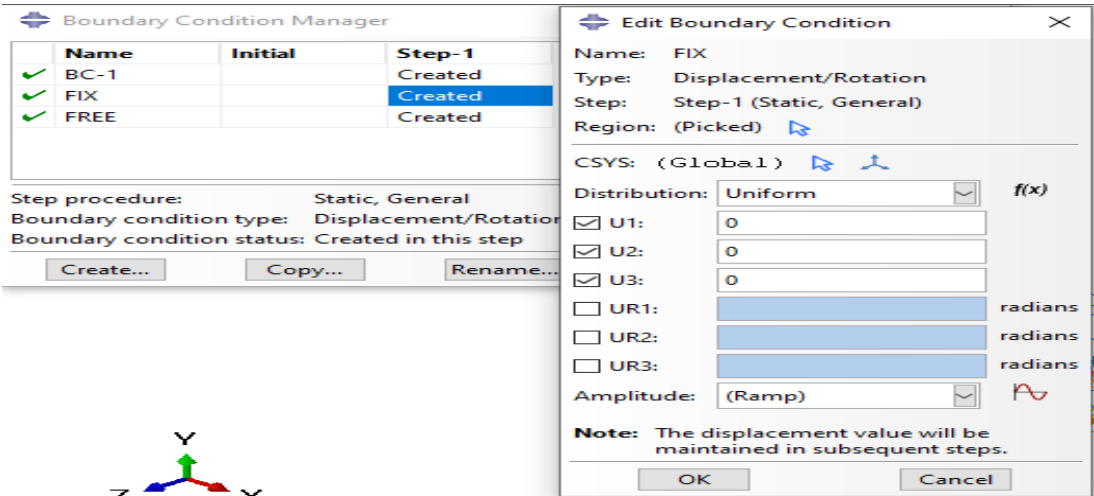


Figure 3. 17 Création de charge

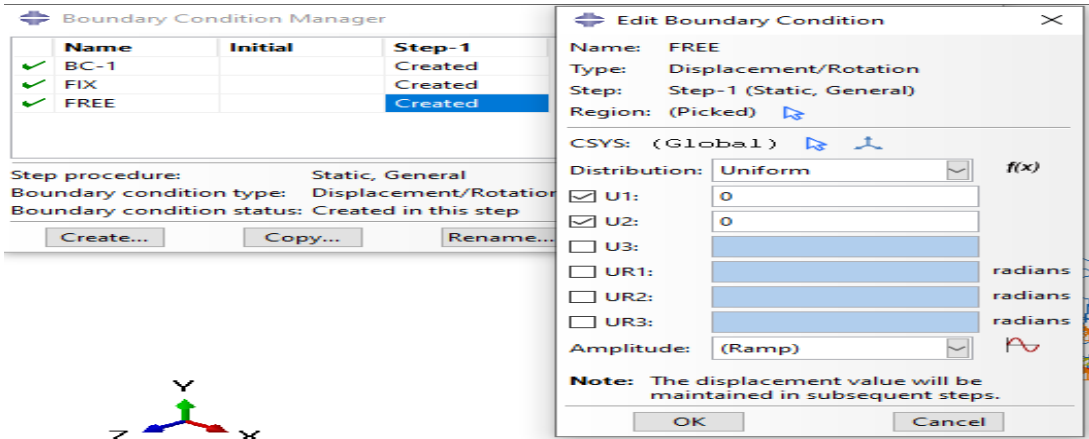


Figure 3. 18 Création de charge

3.12.7. Condition aux limites :

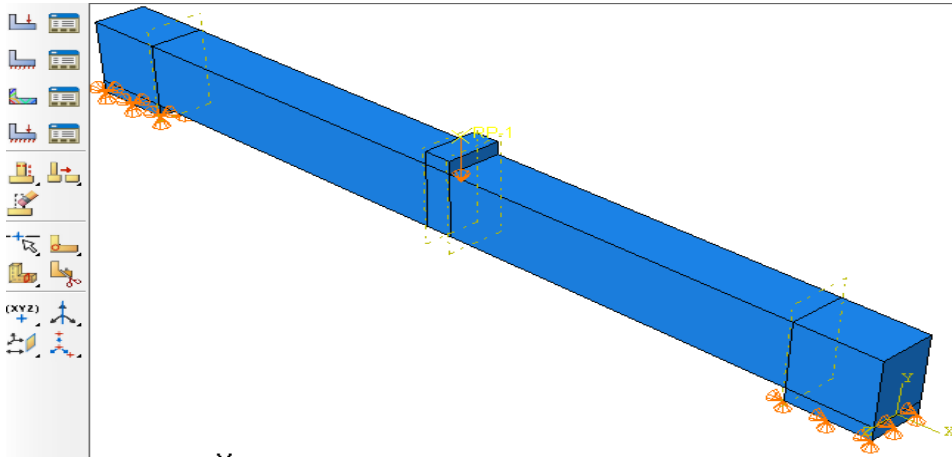


Figure 3. 19 Conditions aux limites

3.12.8. Maillage:

– Les différentes tailles globales approximatives du maillage sont présentes dans les figures suivantes :

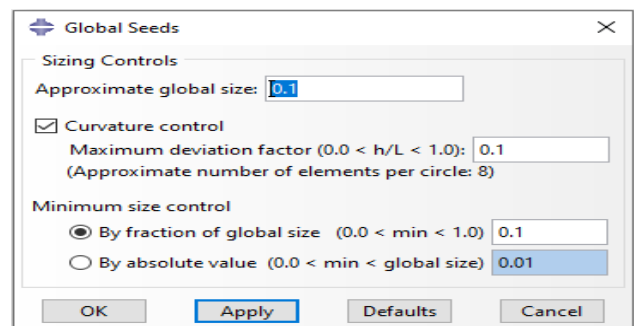
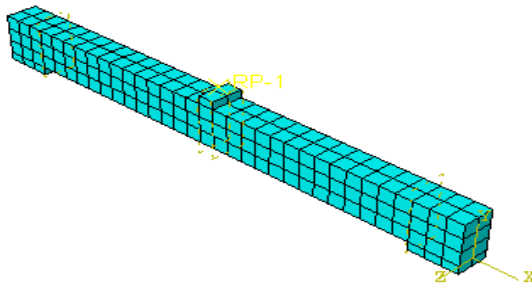


Figure 3. 20 Global Size

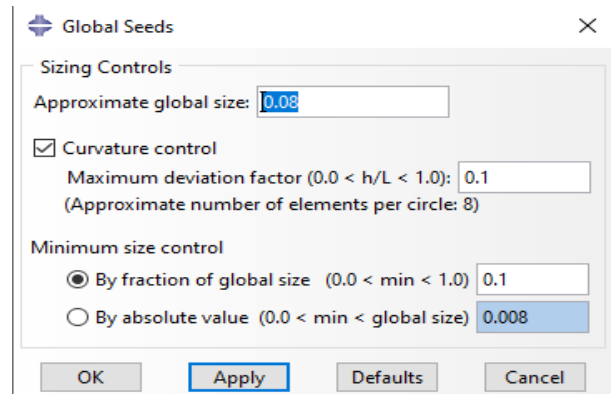
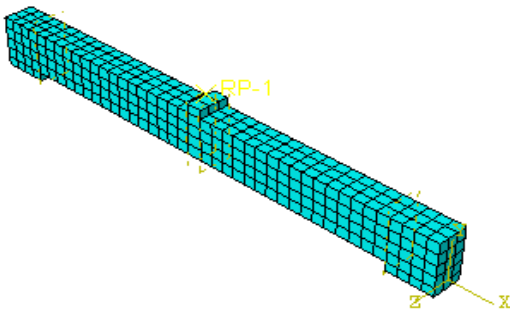


Figure 3. 21 Global Size

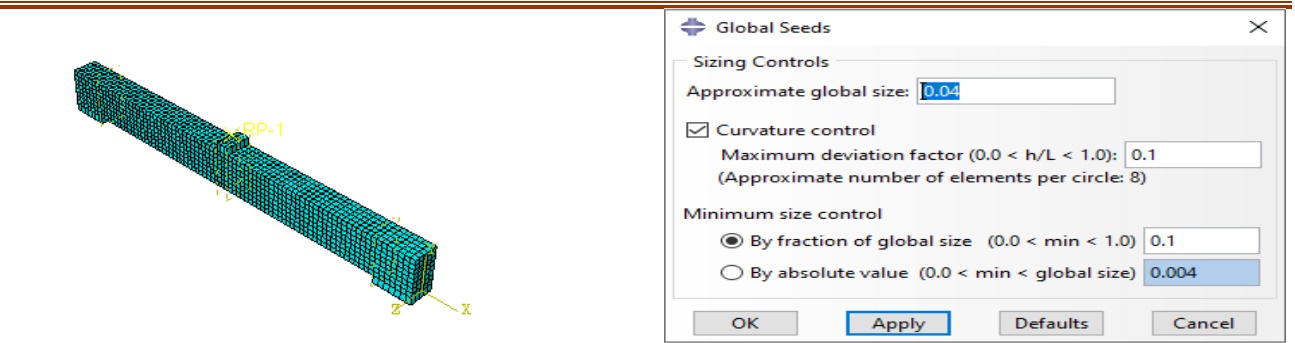


Figure 3. 22 Global Size

3.12.9. Module Job:

Le « lancement » du calcul est classique. Figure 3.23 Après avoir lancé le calcul, vous pouvez suivre l'évolution du procès en cliquant sur Monitor : vous pouvez ainsi avoir en temps réel l'évolution des incréments de chargement et apprécier la convergence des calculs.

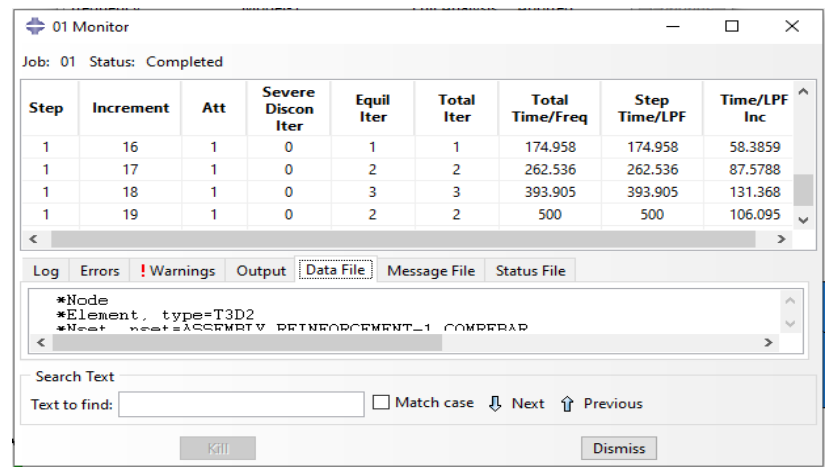


Figure 3. 23 Module Job

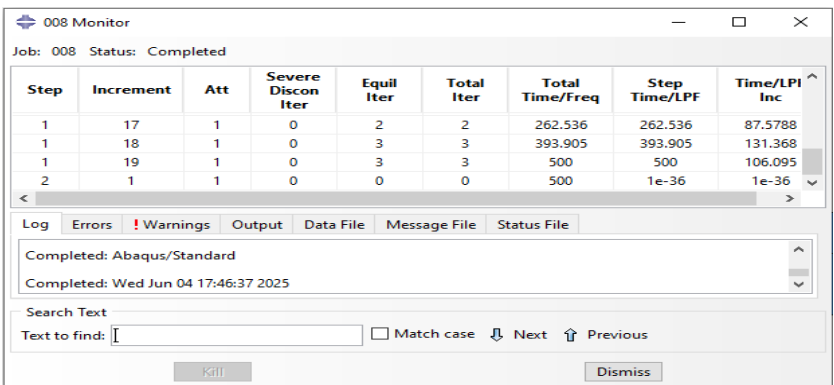


Figure 3. 24 Module Job

poutre004 Monitor

Job: poutre004 Status: Completed

Step	Increment	Att	Severe Discon Iter	Equil Iter	Total Iter	Total Time/Freq	Step Time/LPF	Time/LPF Inc
1	17	1	0	3	3	262.536	262.536	87.5788
1	18	1	0	4	4	393.905	393.905	131.368
1	19	1	0	3	3	500	500	106.095
2	1	1	0	0	0	500	1e-36	1e-36

Log Errors !Warnings Output Data File Message File Status File

Completed: Abaqus/Standard
Completed: Tue Jun 03 01:52:29 2025

Search Text
Text to find: ☐ Match case

Figure 3. 25 Module Job

3.12.10. Module (Visualisation):

Visualisations un module qui affiche tous les résultats de la pièce soit les contraintes ou les déformations, figure **a**, **b**, **c** ; ils illustrent le travail effectué à cette étape.

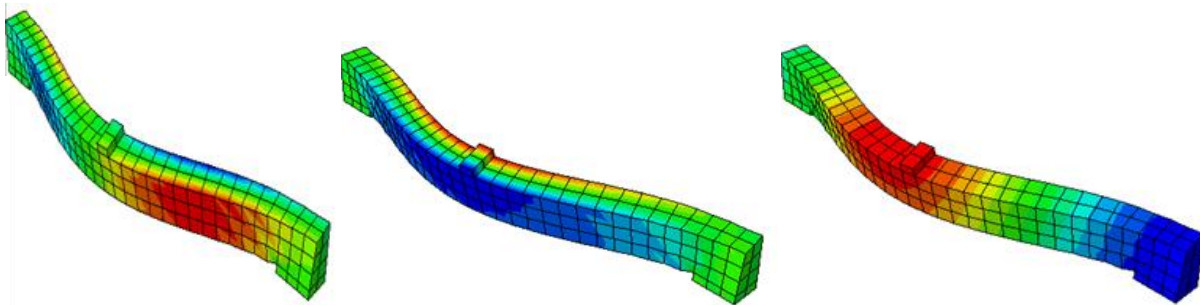


Figure 3. 26 Visualisation de la poutre composantes de déplacement U1, U2, et U3 dans une structure 3D soumise à une charge

3.13. CONCLUSION:

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'outil nécessaire à la modélisation de la poutre. 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, les étapes de la création du modèle ont été bien détaillées par le logiciel ABAQUS.

CHAPITRE

4

4 MODÉLISATION NUMÉRIQUE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

4.1. INTRODUCTION:

Dans ce chapitre, nous présentons la modélisation numérique d'une poutre à l'aide du logiciel Abaqus, basé sur la méthode des éléments finis. Après avoir défini la géométrie, les propriétés des matériaux, les conditions aux limites et les chargements, la simulation permet d'an comportement mécanique de la poutre sous différentes sollicitations. Les résultats obtenus (déplacements, contraintes, déformations) sont ensuite discutés.

4.2. MODÉLISATION NUMÉRIQUE:

Dans cette partie, on peut présenter en détail la modélisation numérique de notre travail. On commence par la conception des pièces, l'assemblage, l'interaction (contact) entre les différentes pièces, les conditions aux limites (load), le maillage (mesh) et on se termine par l'obtention des différents résultats par le module (job).

4.2.1. Analyses des déplacements :

Nous présentons dans ce point l'analyse des déplacements pour les trois poutres pour trois tailles de maillage (0.1, 0.08 et 0.04mm).

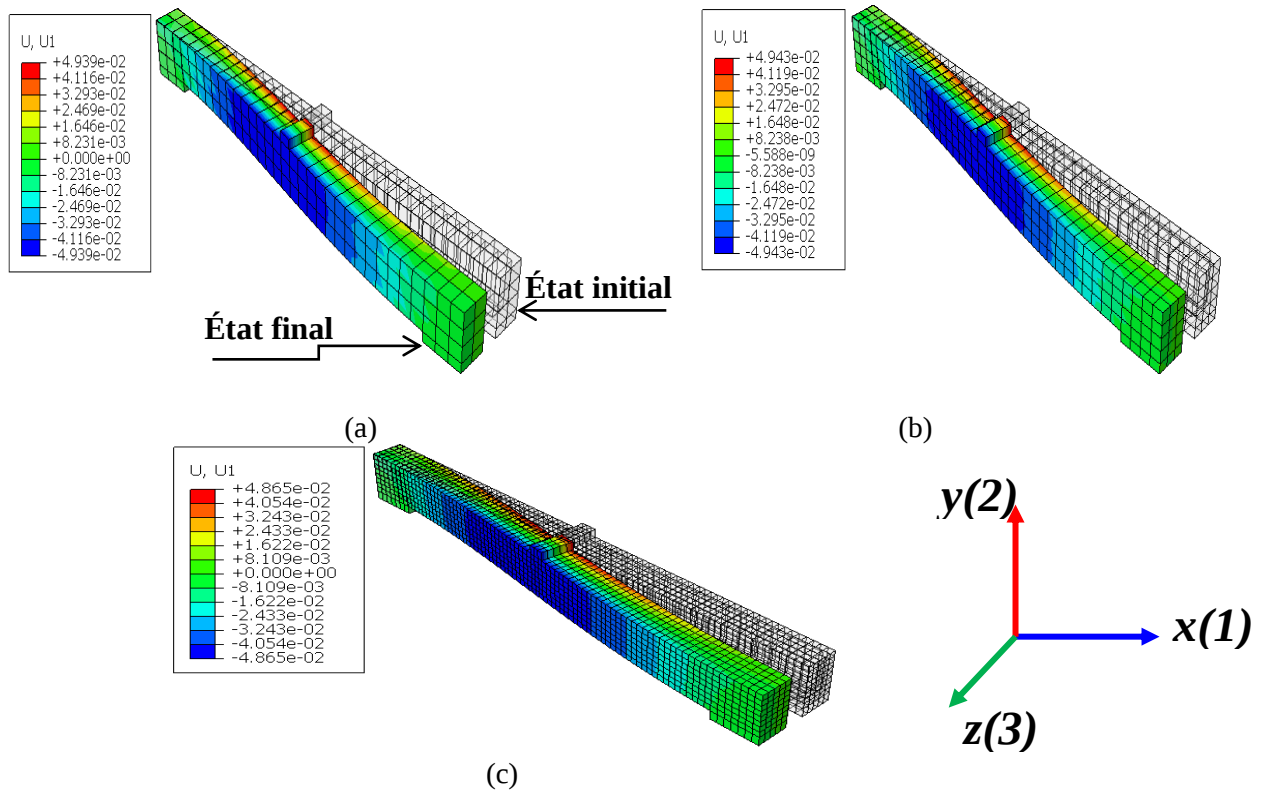


Figure 4. 1 Analyse de déplacements U1 pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04mm

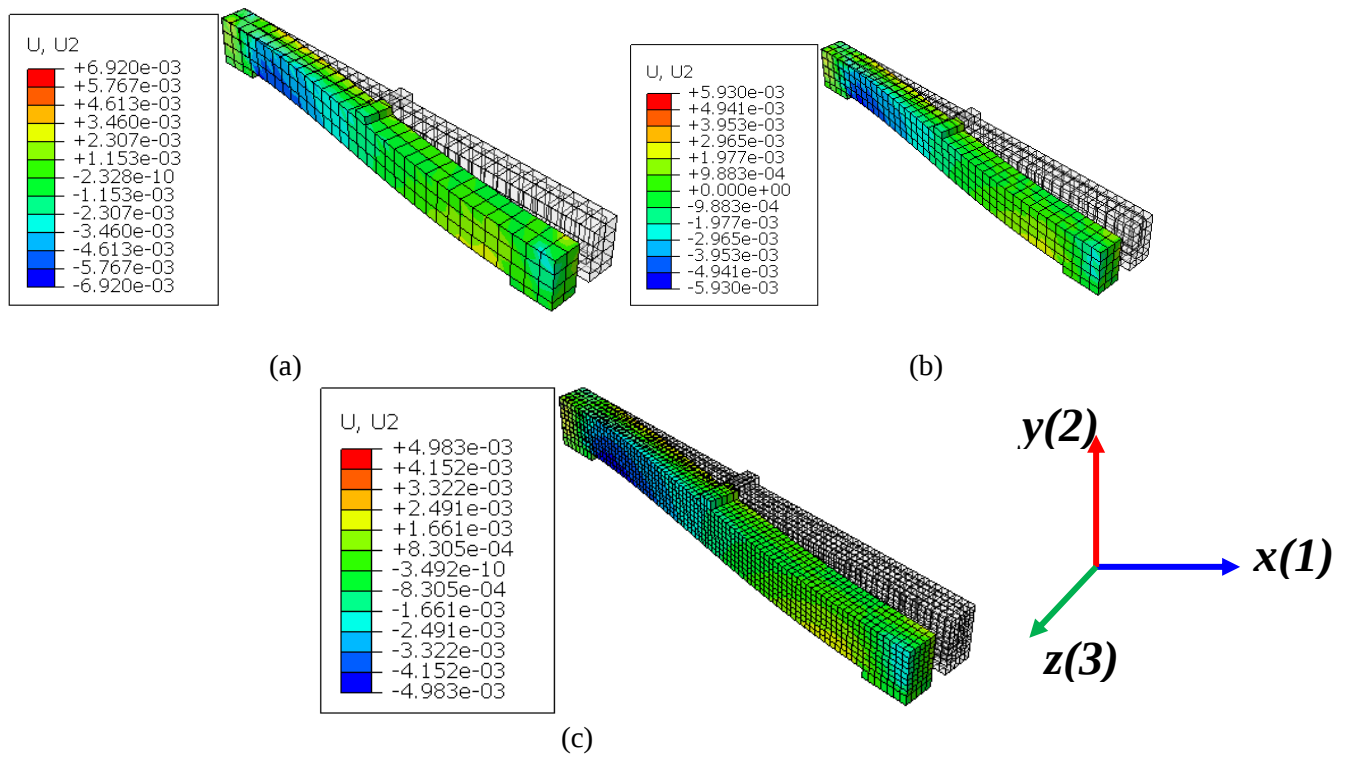


Figure 4. 2 Analyse de déplacements U_2 pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04 mm

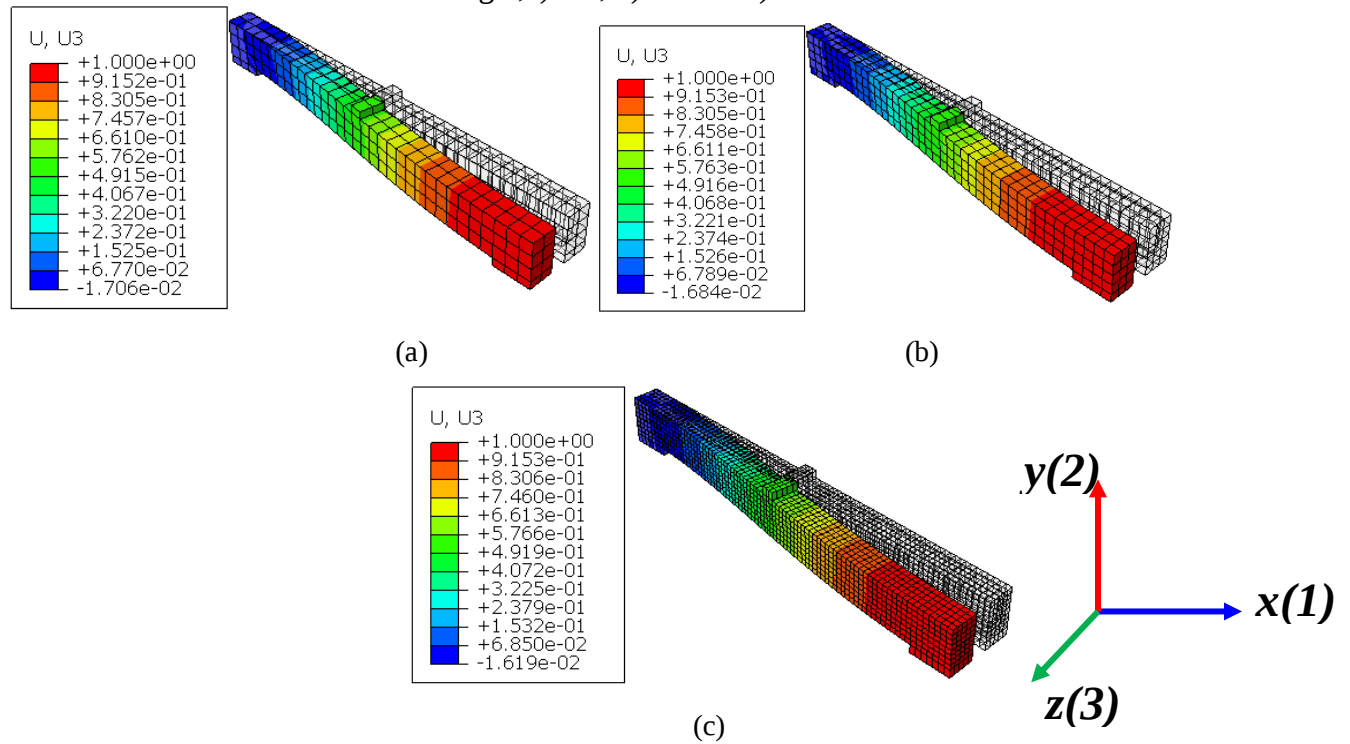


Figure 4. 3 Analyse de déplacements U_3 pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04mm

Les trois figures 4.1, 4.2 et 4.3 présentent l'analyse de déplacement suivant les trois axes (X, Y et Z). On observe que plus le modèle est raffiné, plus le déplacement est important selon les trois directions.

4.2.2. Analyse des déformations :

Nous expliquons dans cette analyse la présentation de déformation (ϵ_{11} , ϵ_{22} , ϵ_{33} , ϵ_{12} , ϵ_{13} , ϵ_{23}) pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage (0.1, 0.08 et 0.04mm).

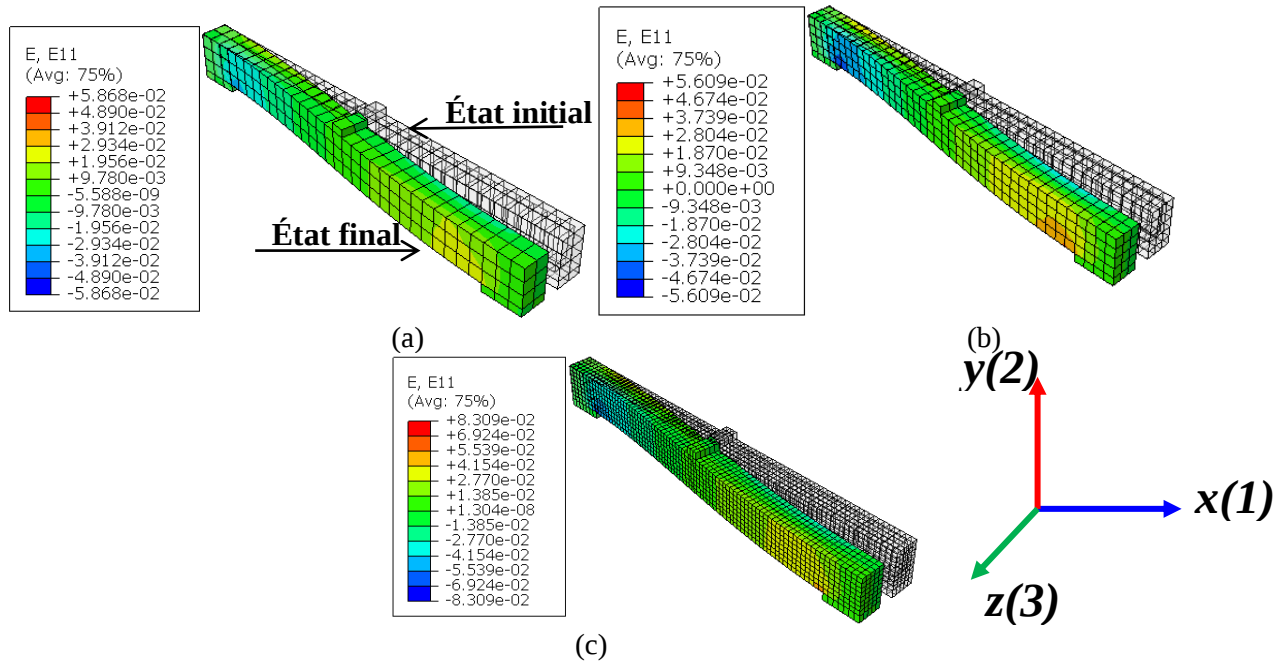
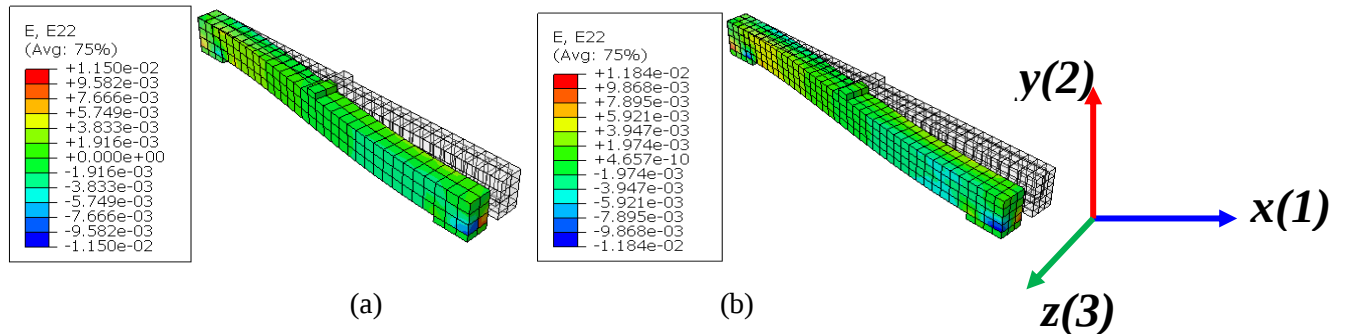
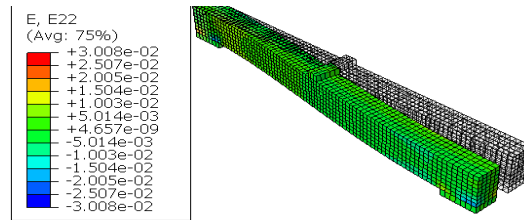


Figure 4. 4 Analyse de déformation (ϵ_{11}) pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04mm





(c)

Figure 4. 5 Analyse de déformation (ϵ_{22}) pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04mm

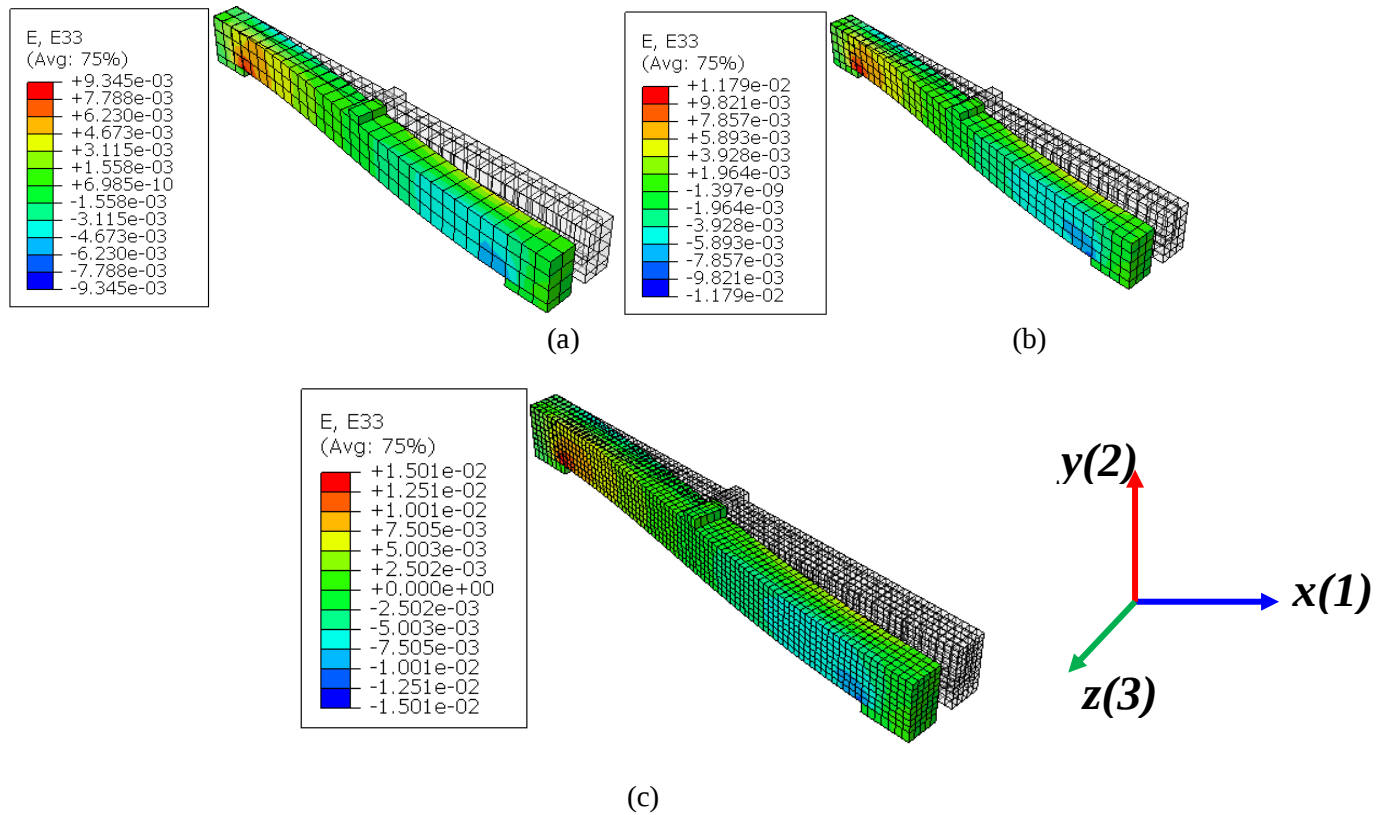
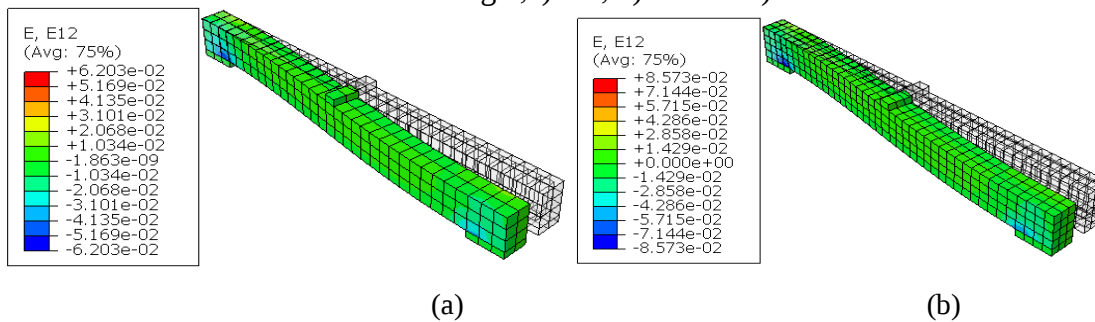


Figure 4. 6 Analyse de déformation (ϵ_{33}) pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04mm



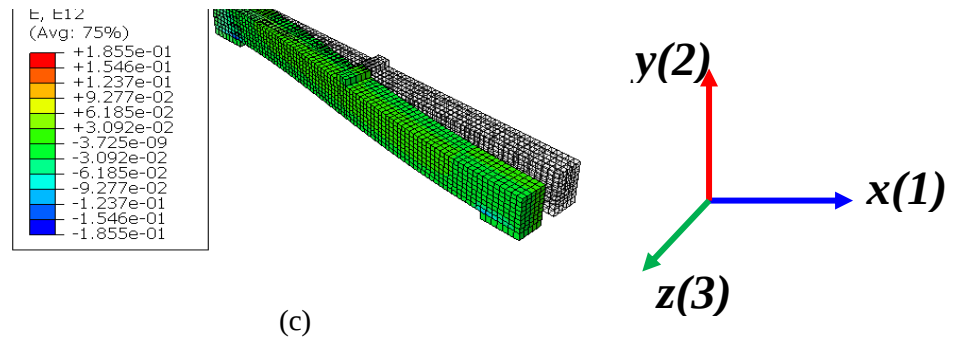


Figure 4. 7 Analyse de déformation (ϵ_{12}) pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04mm

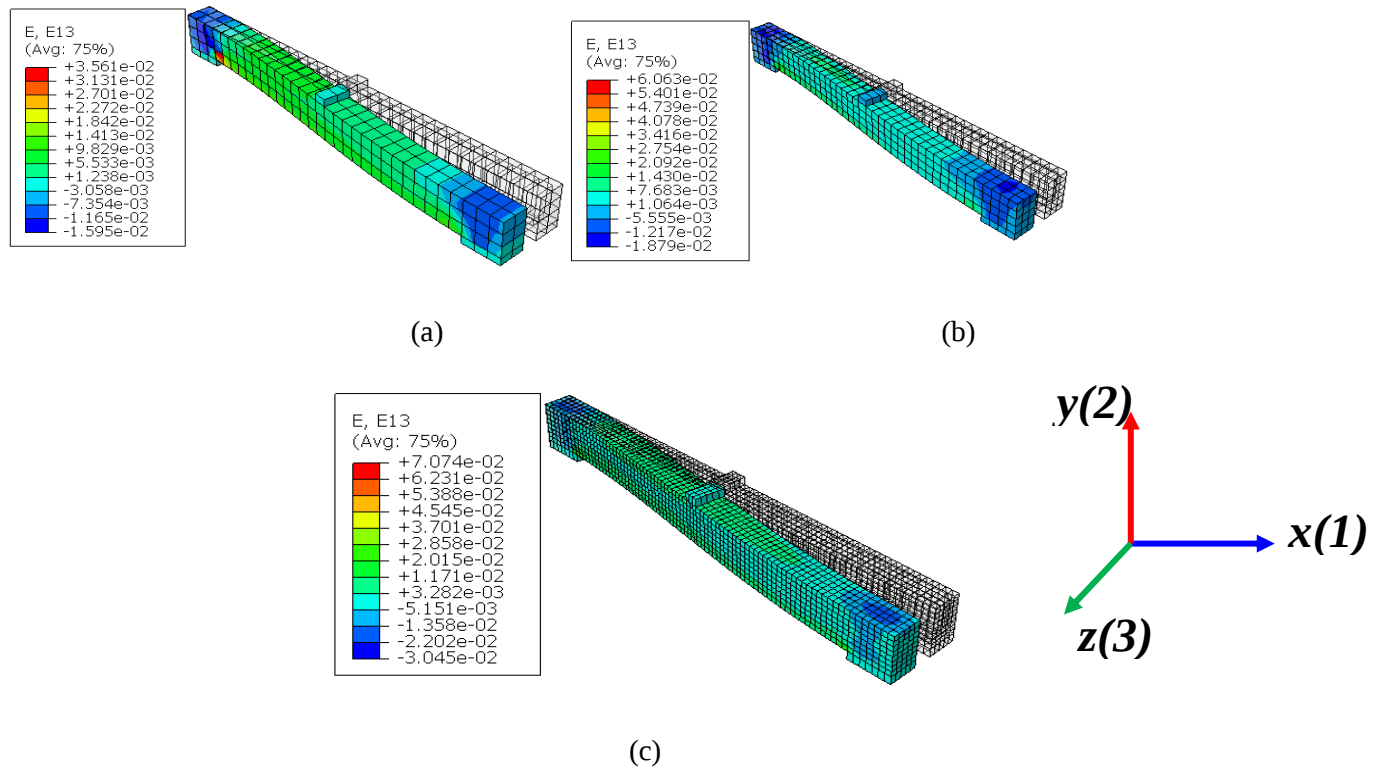
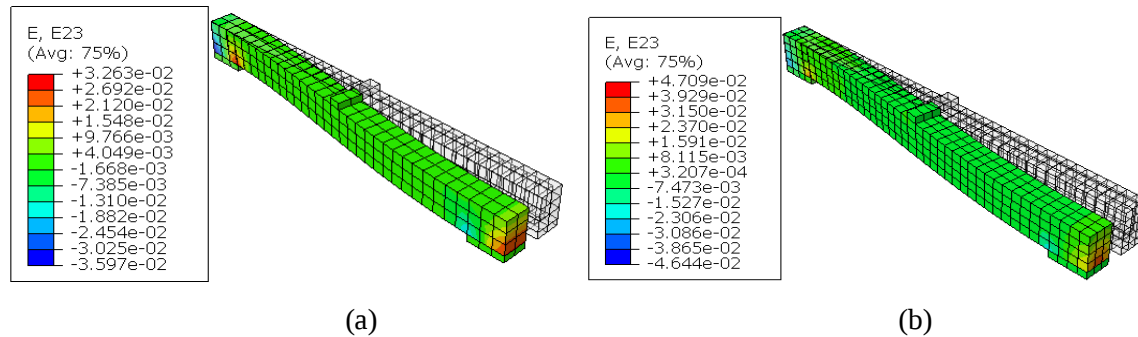


Figure 4. 8 Analyse de déformation (ϵ_{13}) pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04mm



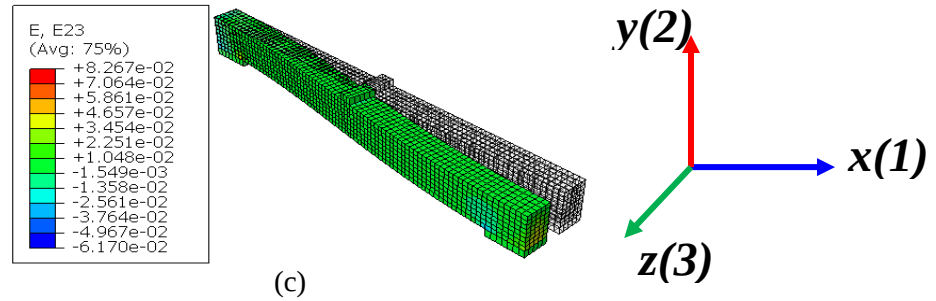


Figure 4. 9 Analyse de déformation (ϵ_{23}) pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04mm

Les figures 4.4 à 4.9 expliquent les différentes analyses de déformation présentes sur la poutre étudiée. En outre, la zone forte de déformation est indiquée sur le modèle raffiné pour tous les modèles. Même la plus faible valeur de déformation est concentrée sur le modèle raffiné.

4.2.3. Analyse des contraintes :

Nous présentons dans ce point l'analyse des contraintes (σ_{11} , σ_{22} , σ_{33} , σ_{12} , σ_{13} , σ_{23}) pour les trois poutres pour trois tailles de maillage (0.1, 0.08 et 0.04).

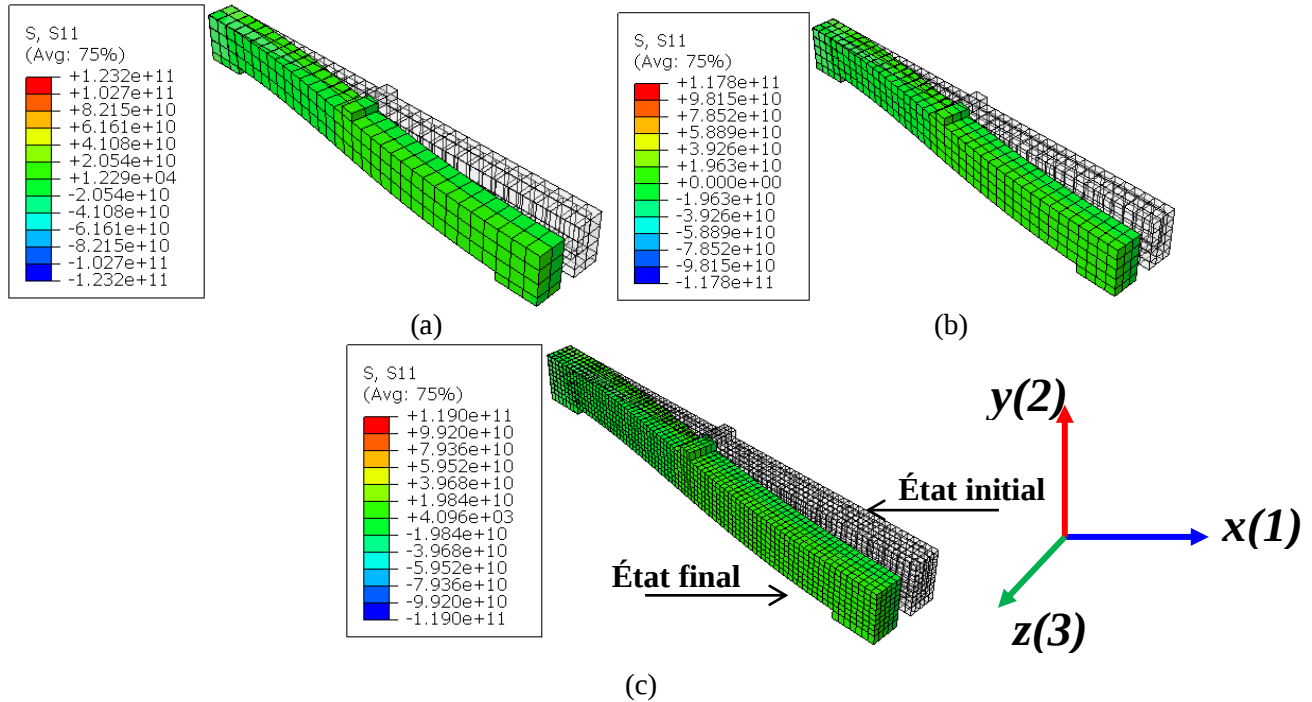


Figure 4. 10 Analyse de contrainte (σ_{11}) pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04mm

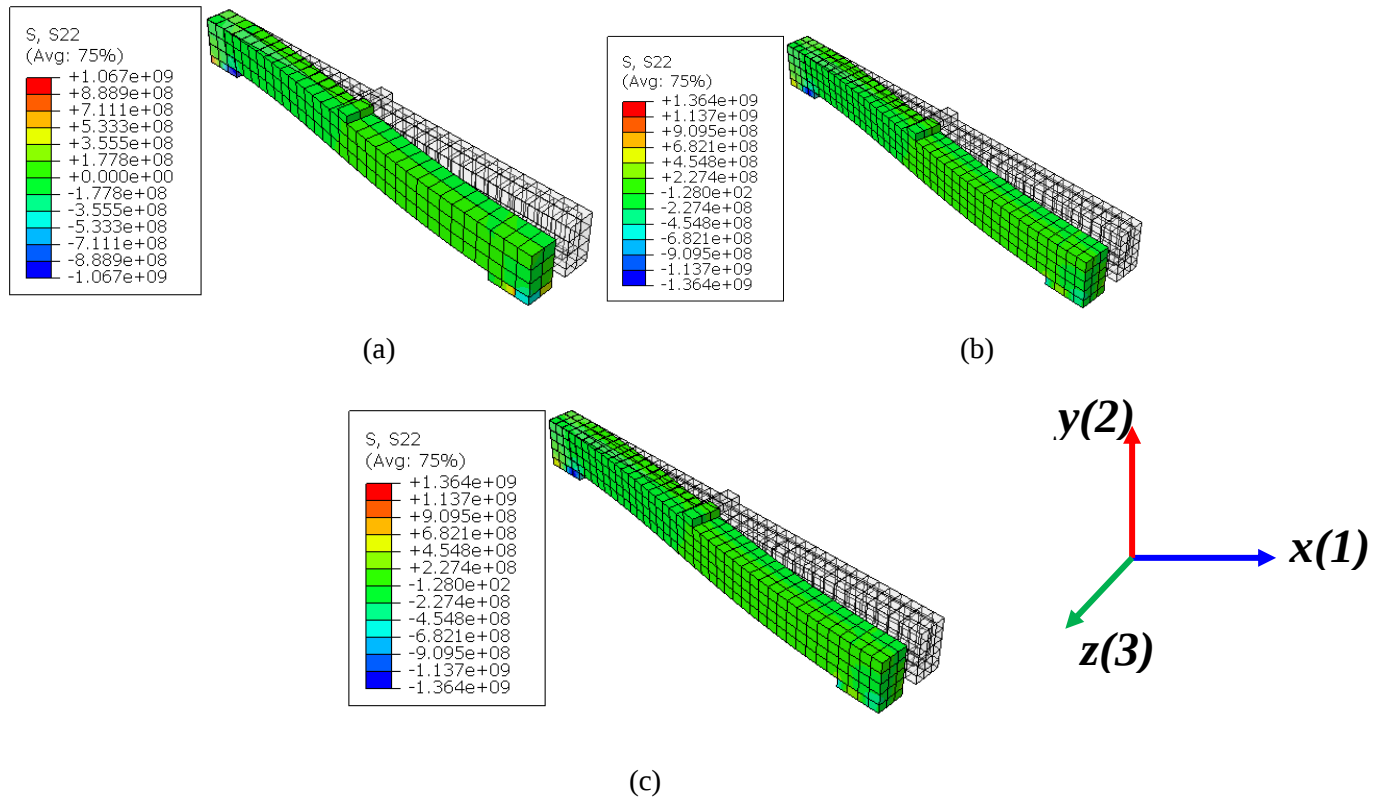
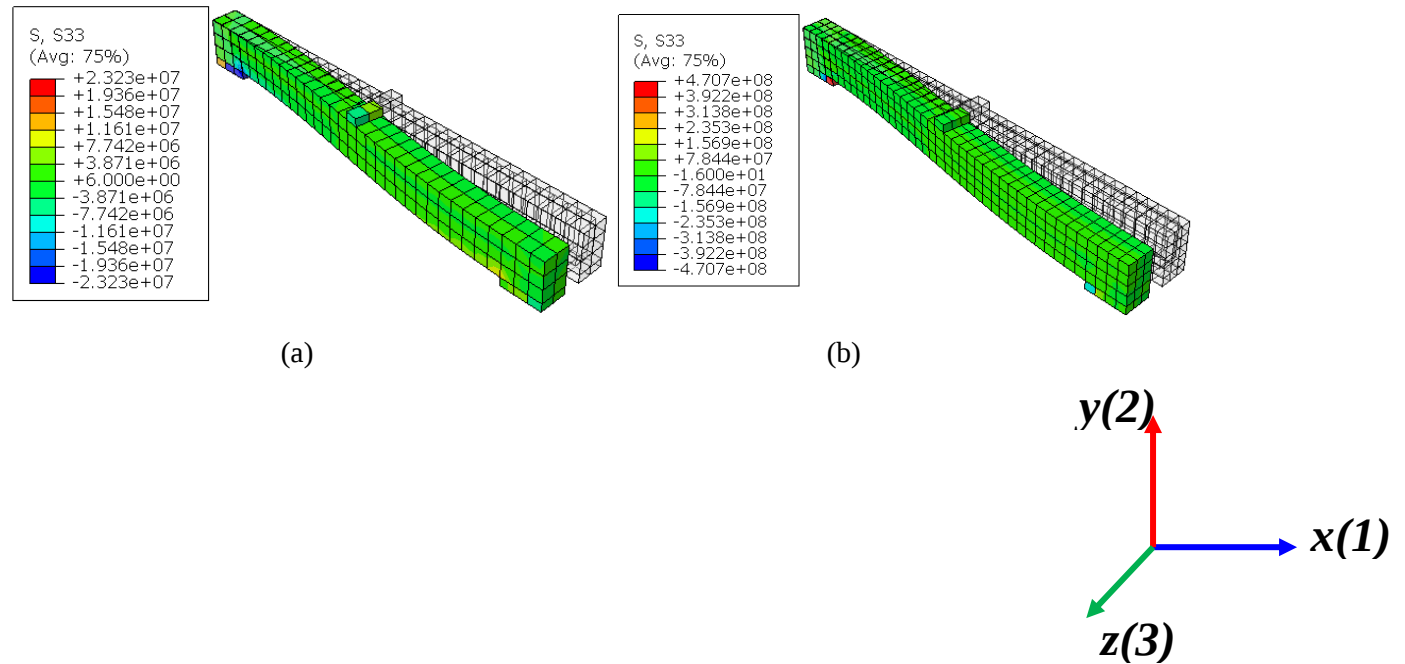
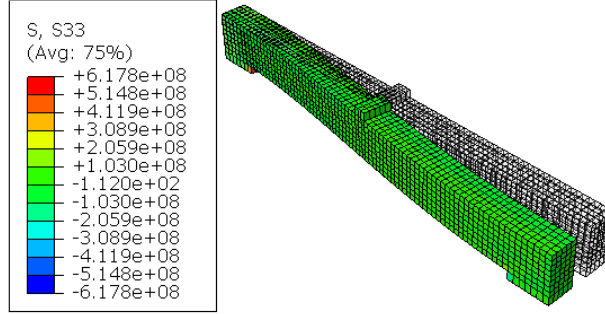


Figure 4. 11 Analyse de contrainte (σ_{22}) pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04mm





(c)

Figure 4. 12 Analyse de contrainte (σ_{33}) pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04mm

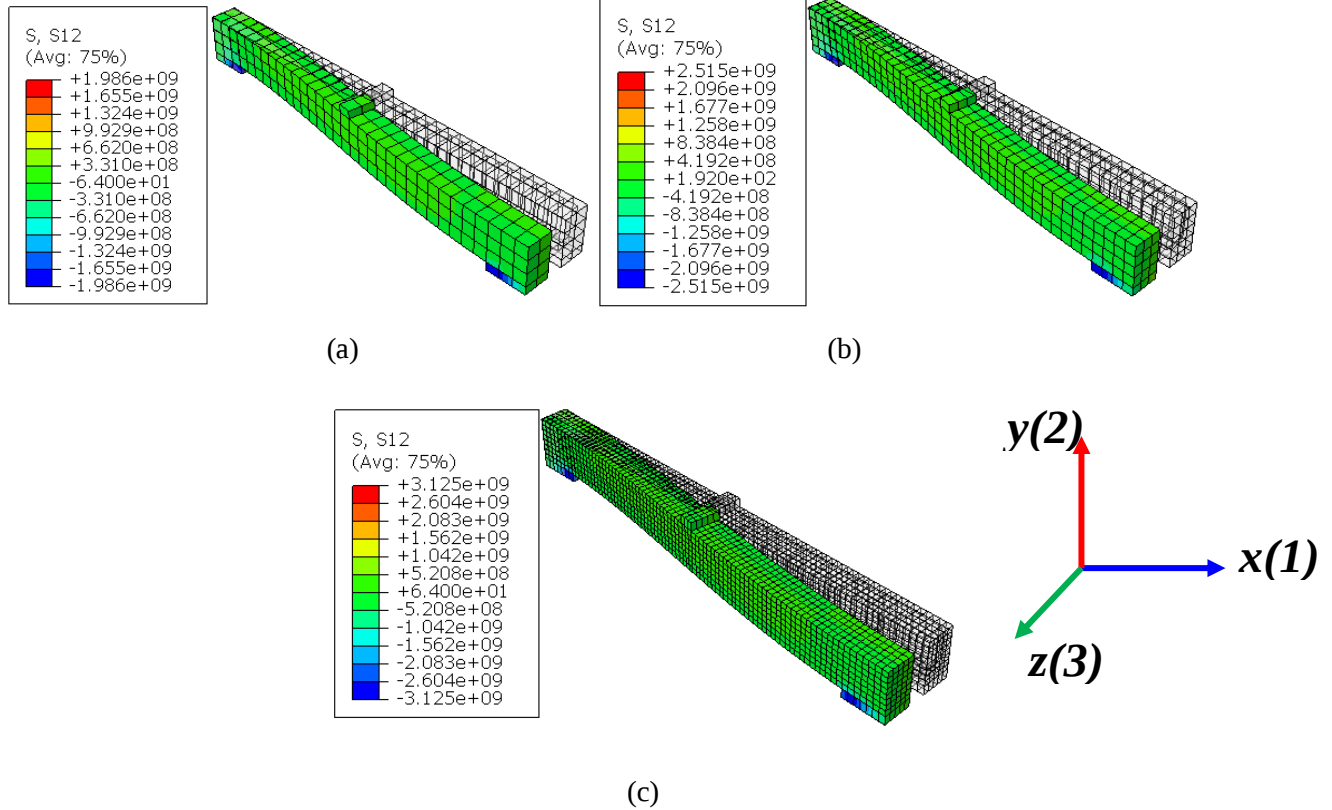


Figure 4. 13 Analyse de contrainte (σ_{12}) pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04mm

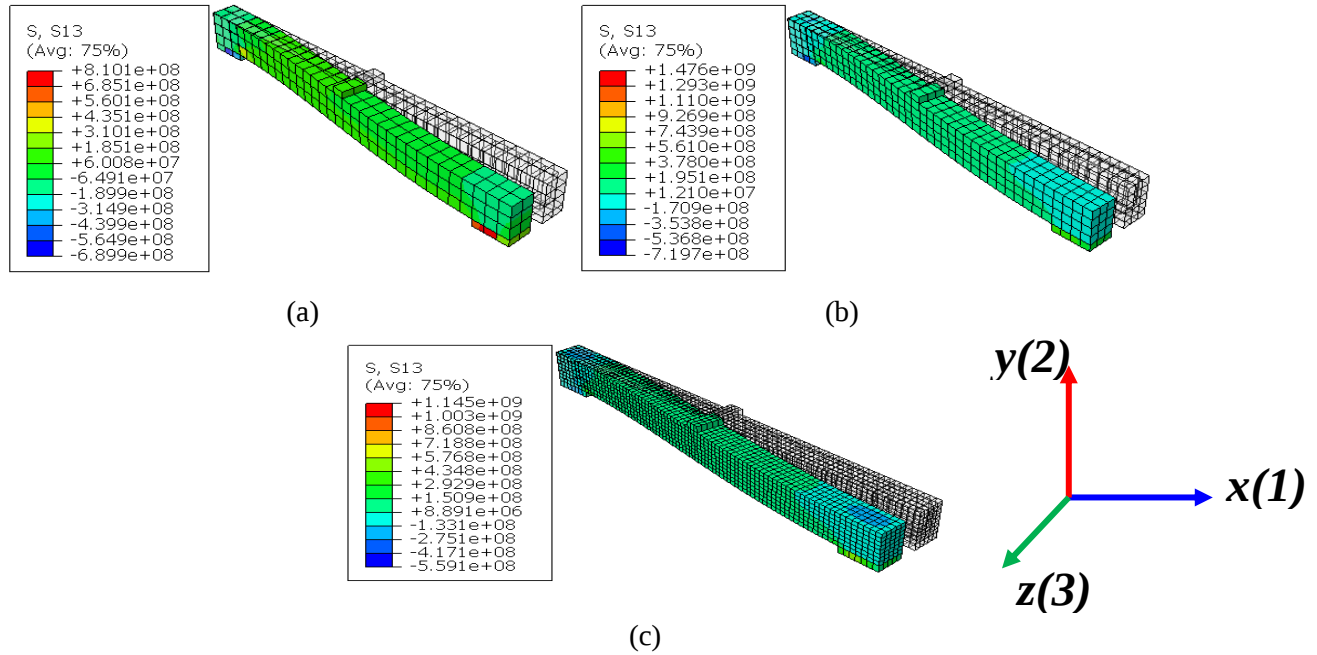


Figure 4. 14 Analyse de contrainte (σ_{13}) pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04mm

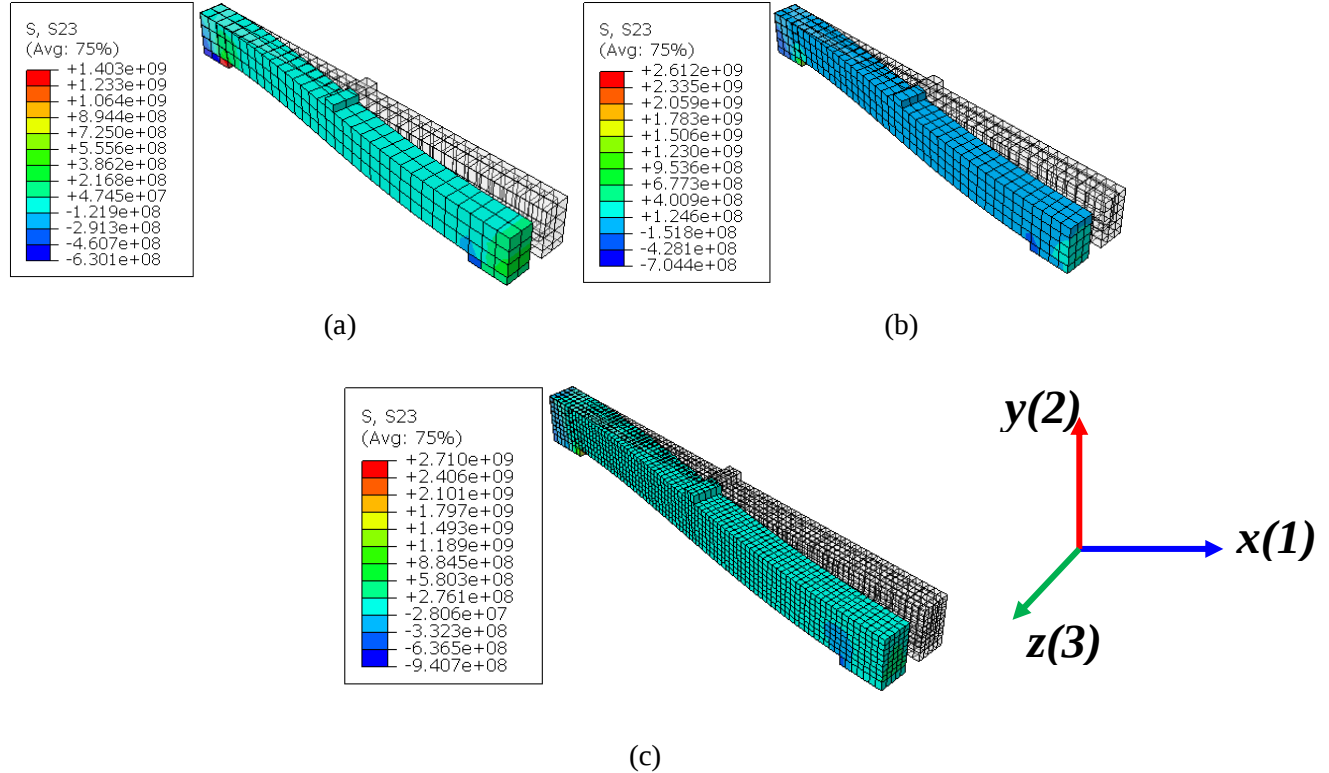


Figure 4. 15 Analyse de contrainte (σ_{23}) pour les trois poutres concernant les trois tailles de maillage ;a) 0.1, b) 0.08 et c) 0.04mm

Les figures 4.10 à 4.15 expliquent les différentes contraintes principales (σ_{11} , σ_{22} , σ_{33} , σ_{12} , σ_{13} , σ_{23}) avec la distribution dans la poutre. Concernant les trois tailles de maillage, on indique que la zone de forte contrainte est toujours concentrée sur le modèle raffiné, même pour la faible contrainte qui est concentrée la plupart du temps sur le modèle raffiné.

4.3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS :

4.3.1. ÉNERGIES :

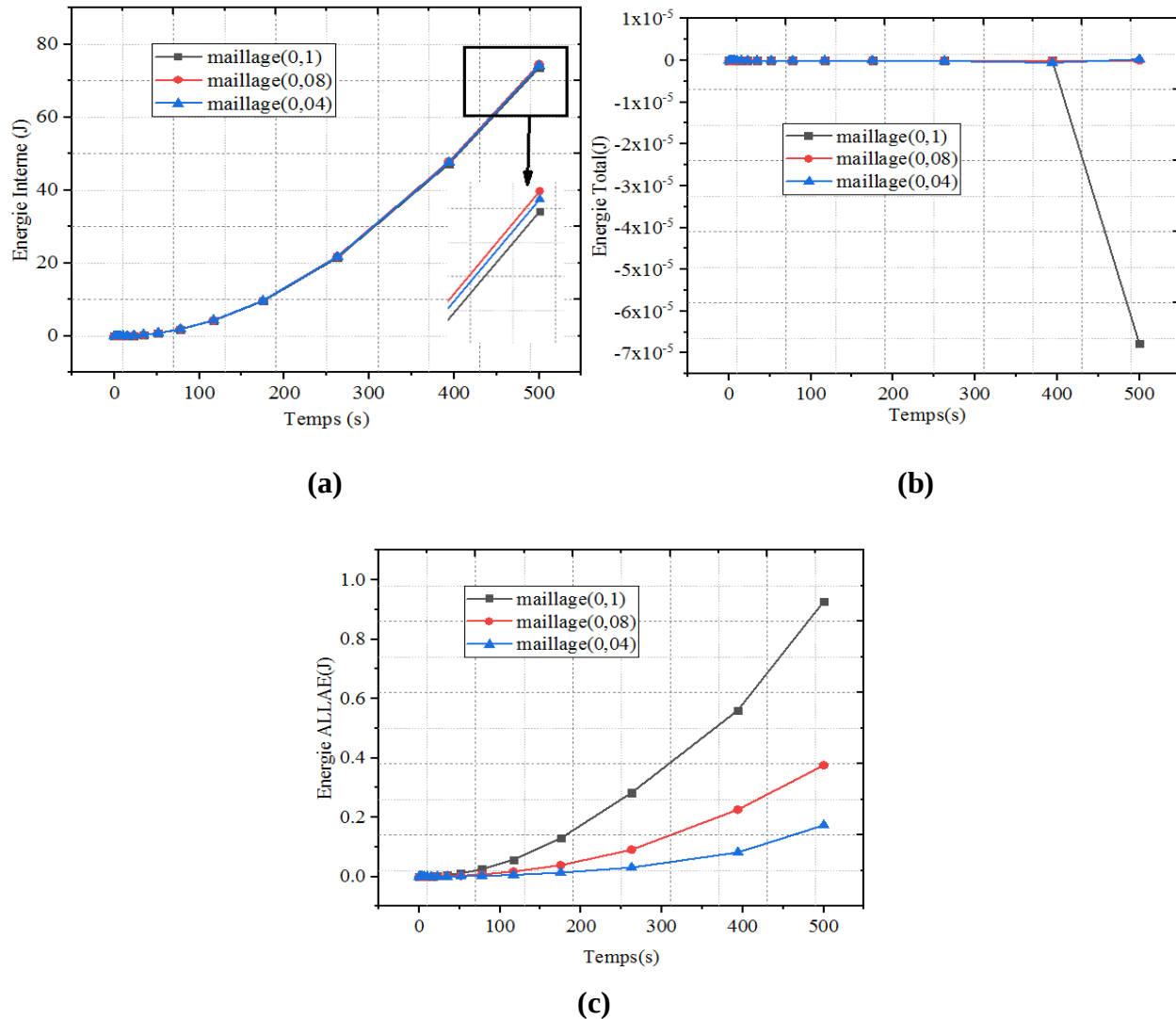
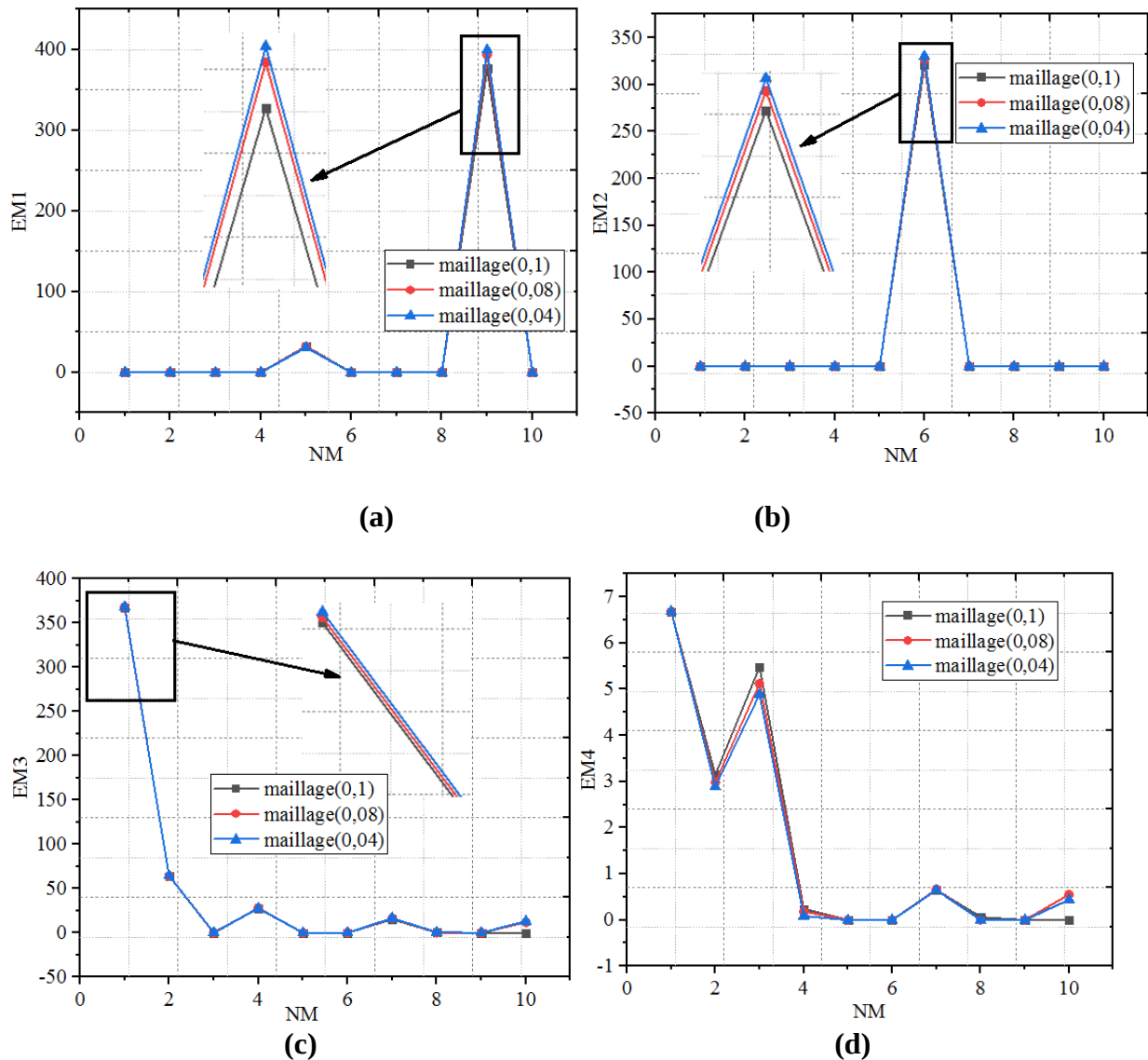


Figure 4. 16 Évolution de l'énergie en fonction du temps; a) énergie interne, b) énergie Total et c) énergie ALLAE

La figure 4.16 montre l'évolution de différentes formes d'énergie (interne, artificielle et ALLAE) en fonction du temps pour trois tailles de maillage (0,1, 0,08 et 0,04 mm). On observe que l'énergie interne (la figure 4.16a) augmente avec l'augmentation du temps, et que les résultats sont plus stables et précis. L'énergie artificielle (la figure 4.16b) reste faible pour le maillage grossier de 0,1

mm, tandis qu'elle devient instable pour les deux maillages fins de (0,04 mm et 0,08 mm), indiquant une possible instabilité numérique. Enfin, l'énergie ALLAE (la figure 4.16c) est plus élevée avec les maillages grossiers, ce qui traduit une dissipation numérique importante. Ces observations montrent que le raffinement du maillage améliore la précision et la stabilité des simulations : plus le maillage est raffiné, plus l'énergie ALLAE est faible.

4.3.2. MASSE EFFECTIF:



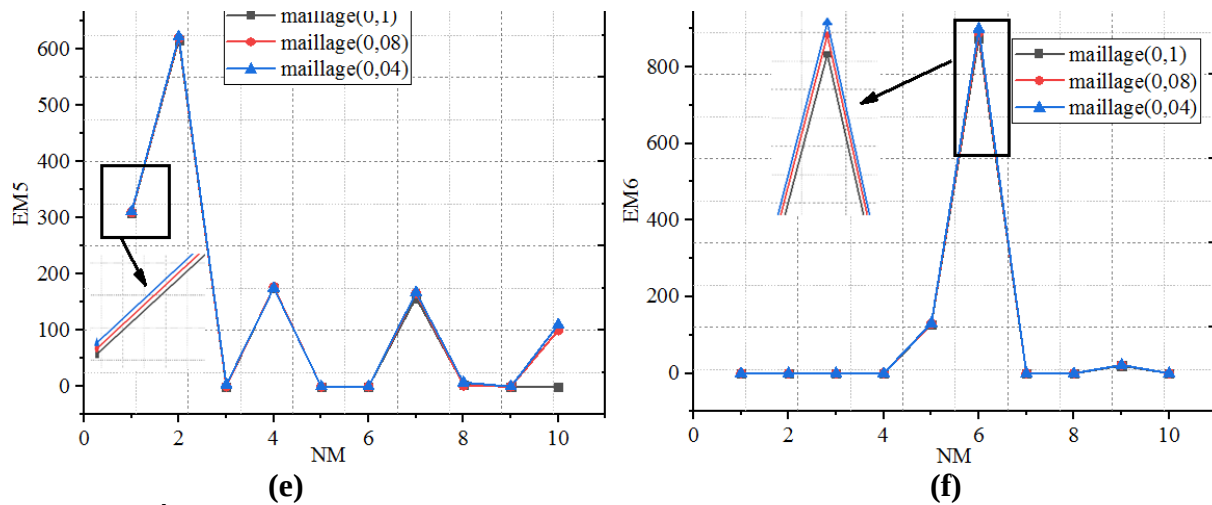


Figure 4. 17 Évolution de la masse effectif en fonction de numéro de mode(NM) ;a) EM1, b)EM2, c) EM3, d) EM4,e) EM5 et f) EM6

La figure 4. 17 montre l'évolution de la masse effectif en fonction de numéro de mode , on a remarqué que les trois maillage différents sont proportionnelles, dans le graphe (a) pour EM1 et le (b) pour EM2 et le graphe (f) pour EM6, presque les valeurs sont nuls dans les premiers modes et après prendre une valeur très élevé entre (400Kg et 900Kg), et pour les autres graphes (c) (d) (e) on peut voir que les valeurs les plus élevés dans les premiers modes et puis commençais a diminué rapidement.

4.3.3. EIGVAL et fréquences:

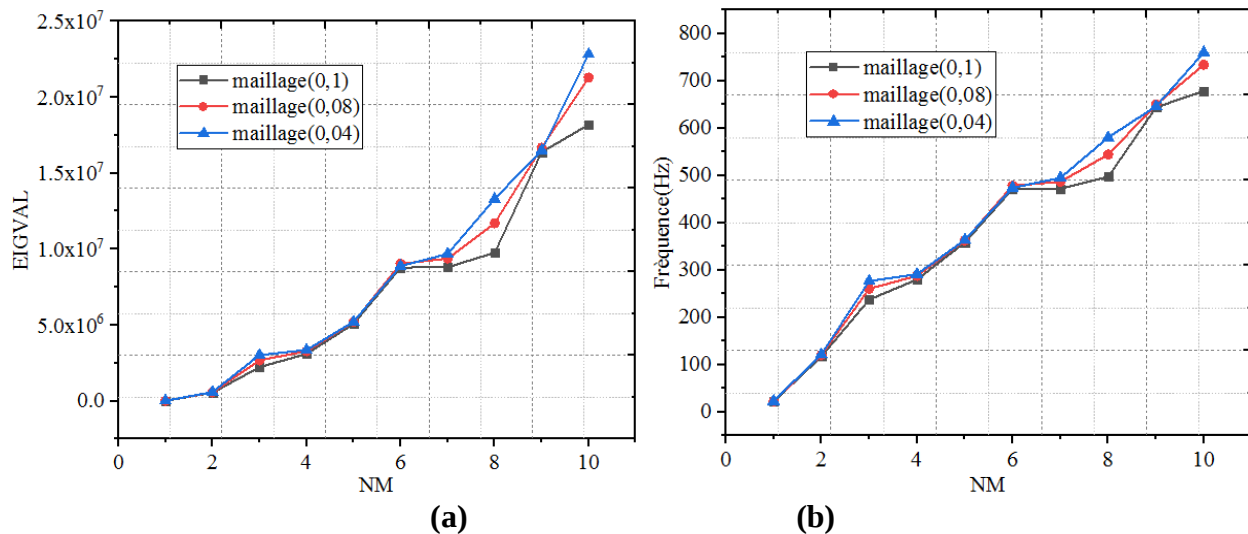


Figure 4. 18 Évolution d'EIGVAL et fréquences en fonction du nombre de modes(NM) ; a)EIGVAL et b) Fréquences

La figure 4.18 montre respectivement l'évolution des valeurs propres (EIGVAL) et des fréquences en fonction du nombre de modes (NM) pour trois tailles de maillage différentes : 0,1, 0,08 et 0,04 mm. On observe que l'augmentation progressive des valeurs propres et des fréquences avec le nombre de modes, ce qui est conforme au comportement attendu dans une analyse modale. L'influence du raffinement du maillage est particulièrement visible pour les modes élevés, où les courbes correspondant aux maillages plus fins (0,08 et 0,04) convergent davantage entre elles, tandis que le maillage le plus grossier (0,1 mm) présente des écarts notables. Cela met en évidence la nécessité d'un maillage suffisamment raffiné pour garantir la précision des résultats numériques, en particulier dans l'évaluation des modes supérieurs.

4.4. CONCLUSION :

En conclusion, les résultats de la modélisation numérique par logiciel abaqus fournissent une analyse détaillée du comportement dynamique du système étudié. L'évolution de l'énergie en fonction du temps permet de suivre la réponse dynamique et de détecter d'éventuelles oscillations ou dissipations. L'évolution de la masse effective en fonction du numéro de mode met en évidence l'importance relative des différents modes vibratoires, offrant ainsi une compréhension plus fine de la distribution de la masse. Enfin, l'évolution des valeurs propres (EIGVAL) et des fréquences en fonction du nombre de modes révèle les caractéristiques de résonance du système, et la convergence des résultats permet de valider la précision de la modélisation. Ces graphiques combinés offrent une vue complète du système, facilitant ainsi l'interprétation de ses propriétés dynamiques et la prise de décisions éclairées pour son optimisation ou sa conception.

Conclusion générale

Conclusion générale:

Cette mémoire a présenté une étude numérique approfondie du comportement d'une poutre en béton armé à l'aide de la méthode des éléments finis (FEM).

L'étude a mis en évidence l'importance d'une modélisation précise et détaillée des propriétés du béton et de l'acier dans le cadre de la méthode FEM. En utilisant des modèles numériques adaptés, il a été possible d'analyser les déformations, les déplacements et les contraintes. Ainsi, d'évaluer différentes variables telles que les masses effectives, les différentes énergies et les paramètres dynamiques comme les valeurs propres (EIGVAL) et les fréquences.

Les résultats numériques obtenus ont permis de valider la méthode FEM comme un outil puissant et fiable pour simuler les comportements linéaires et les phénomènes complexes dans les structures en béton armé.

Ces résultats ont également révélé des zones de faiblesse spécifiques qui peuvent entraîner des défaillances structurelles, fournissant ainsi des indications importantes pour l'optimisation de la conception des poutres en béton armé.

L'analyse des résultats a montré que la méthode FEM permet non seulement une représentation précise du comportement des poutres, mais aussi une meilleure compréhension des interactions entre le béton et l'acier. Elle s'avère particulièrement utile pour prévoir la réponse des structures sous différentes conditions de charge et pour évaluer les marges de sécurité des constructions.

Ainsi, ce mémoire apporte une contribution significative à la compréhension et à la modélisation des structures en béton armé, tout en offrant des perspectives intéressantes pour leur conception et leur optimisation dans un cadre de sécurité et de performance accrues.

Enfin, cette étude numérique souligne l'importance de la méthode des éléments finis dans l'analyse et la conception des structures en béton armé. Elle offre une meilleure compréhension des mécanismes de déformation et de rupture et constitue un outil précieux pour les ingénieurs en génie civil. Cette approche ouvre la voie à de futures recherches visant à améliorer la durabilité et la performance des structures en béton armé, notamment en intégrant des phénomènes plus complexes tels que le vieillissement des matériaux ou les effets dynamiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- [1] HASSANI Fatima zohra et ZIDOUN Khadidja, Mémoire :Modélisation Numérique du comportement linéaire de poutre en béton armé par logiciel ABAQUS Présenté par : Soutenu le 07 /06/ 2023.
- [2] M. HADJ MILOUD.UNIVERSITE HASSIBA BENBOUALI DE CHLEFPolycopié de cours RESISTANCE DES MATERIAUX-2Dr.
- [6] MERZOUKI Brahim, MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE-UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU- Spécialité : Génie Civil-THEME : Renforcement, avec matériaux composites, des poutres en béton, Promotion : 2022/ 2023.
- [7] A. ALLICHE , Maître de Conférences Paris 6
- [8] HASSANE NARY Abdoulaye, Mémoire de Master- Présenté à l'Université 8 Mai 1945 de Guelma Faculté des Sciences et de la Technologie, Thème : ETUDE ET CARACTERISATION D'UN BETON RENFORCE PAR POLYMERES- Juin 2022.
- [11] MAMINIRINA James Daniel, MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE LICENCE Titre : DIMENSIONNEMENT D'UNE POUTRE EN BÉTON ARMÉ À L'INTÉRIEUR D'UN BÂTIMENT, Année universitaire : 2022 – 2023
- [13] YAHIA L. Socle Commun Science Et Technologie-Université Batna 2.
- [14]DENIS ABRY. « Présentation général d'Abaqus ». Formation des masters ; école centraled de paris. 2008
- [15]BOULEFTOUR ABDERRAHMANE, « Evaluation d'éléments finis volumiques dans Abaqus sur des cas tests non linéaires géométriques ».
- [16] MEZIANI Nedjma Université Mohamed Khider - Biskra - Faculté des Sciences et Sciences de L'ingénieur Département de Génie Civil, THÈME CONTRIBUTION DE L'APPROCHE EN DÉFORMATION DANS LA MODÉLISATION DES STRUCTURES A CONTOUR CIRCULAIRE Soutenu : 2006.
- [18] BOUMENKAR Manèl «Évolution des paramètres de rupture en fonction de la charge et la taille de fissure en flexion 3 et 4 points», Université Badji Mokhtar ANNABA, Année Universitaire: 2020/2021

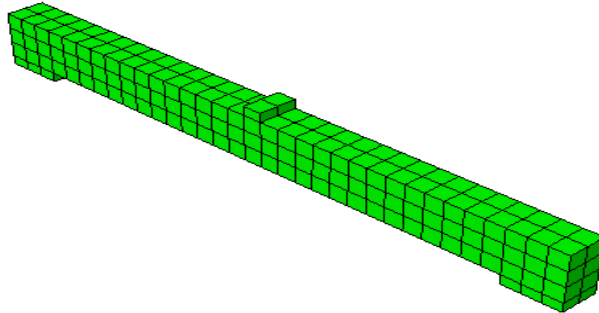
- [19] BERDJI MOHAMED EL BACHIR « Modélisation d'une structure en matériaux isotropes par la méthode des éléments finis », Université de Ouargla ,2019
- [20] TAHAR NATECHE « Réhabilitation et Renforcement des Canalisations sous Pression en présence des défauts de surfaces » l'Université Des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf (Oran)
- [21] M.AIT TALEB Aissa « Modélisation du comportement de structures tubulaires utilisés et non traités »

RÉFÉRENCES SITOGRAPHIQUES :

- [3] http://lesitegc.free.fr/cours/cours_terminale/nvm/Poutre.php
- [4] <https://appx.cchic.ca/svilleneuve/materiaux/chap7.pdf>
- [5] https://elearning.univ-msila.dz/moodle/pluginfile.php/115565/mod_resource/content/1/chapitre%201%20.pdf
- [9] Dr. ZENDAOUI Abdelhakim Cours: Béton Armé I
https://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/zendaoui_abdelhakim/files/cours-beton-arme-1.pdf
- [10] S.BENSAADA. Université Mohamed Khider Biskra Cour RDM Resistance Des Matériaux <https://www.univ-biskra.dz/enseignant/bensaada/RDM.pdf>
- [12] Cours de Résistance des matériaux <https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox?projector=1>
- [17] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Abaqus#:~:text=ABAQUS%20fut%20d'abord%20con%C3%A7u,Syst%C3%A8mes%20et%20est%20devenue%20SIMULIA>

ANNEXE:

ANNEXE (A)



1

Abaqus 3DEXPERIENCE R2017x

Date 09-juin-2025 Time 11:24:58

For use by Supplied by Team-SolidSQUAD under license from DassaultSystemes or its subsidiary.

The Abaqus Software is a product of:

DassaultSystemes SIMULIA Corp.

1301 Atwood Avenue, Suite 101W

Johnston, RI 02919, USA

The Abaqus Software is available only under license from DassaultSystemes or its subsidiary and may be used or reproduced only in accordance with the terms of such license.

On machine DESKTOP-2Q0BEVH

you are authorized to run

Abaqus/Standard until 31-Dec-2055

Your site id is:

For assistance or any other information you may obtain contact information for your local office from the world wide web at:

<http://www.3ds.com/products/simulia/locations/>

```
*
*
* *****
* * NOTICE *
* *****
*
*
* Abaqus 3DEXPERIENCE R2017x
*
* BUILD ID: 2016_09_27-22.54.59 126836
*
*
```

* Please make sure you are using

*

```

* release 3DEXPERIENCE R2017x manuals          *
* plus the notes accompanying this release.      *
*                                                *
*                                                *
*                                                *
*                                                *
* * * * *
PROCESSING PART, INSTANCE, AND ASSEMBLY INFORMATION
*****
END PROCESSING PART, INSTANCE, AND ASSEMBLY INFORMATION
*****
OPTIONS BEING PROCESSED
*****
*Heading
*Node
*Element, type=T3D2
*Nset, nset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_COMREBAR
*Nset, nset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_STIRRUP
*Nset, nset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_TENREBAR
*Elset, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_COMREBAR
*Elset, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_STIRRUP
*Elset, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_TENREBAR
*Node
*Element, type=C3D8R
*Nset, nset=ASSEMBLY_BEAM-1_BEAM
*Elset, elset=ASSEMBLY_BEAM-1_BEAM
*Node
*Element, type=C3D8R
*Nset, nset=ASSEMBLY_BEARING-1_BEARING
*Elset, elset=ASSEMBLY_BEARING-1_BEARING
*Node
*Element, type=C3D8R
*Nset, nset=ASSEMBLY_BEARING-2_BEARING
*Elset, elset=ASSEMBLY_BEARING-2_BEARING
*Node
*Element, type=C3D8R
*Nset, nset=ASSEMBLY_LOAD-1_LOAD
*Elset, elset=ASSEMBLY_LOAD-1_LOAD
*Node
*Nset, nset=ASSEMBLY__PICKEDSET105
*Nset, nset=ASSEMBLY__PICKEDSET106
*Nset, nset=ASSEMBLY__PICKEDSET107
*Nset, nset=ASSEMBLY__PICKEDSET98
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSET106
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSET107
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF100_S6
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF101_S6

```

```

*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF102_S4
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF103_S6
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF104_S4
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF97_S4
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF99_S4
*material, name=CONCRETE
*density
*elastic
*concretedamagedplasticity
*concretecompressionhardening
*concretetensionstiffening
*material, name=REBAR
*density
*elastic
*plastic
*material, name=STEEL
*density
*elastic
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_STIRRUP, material=REBAR
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_COMREBAR, material=REBAR
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_TENREBAR, material=REBAR
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEAM-1_BEAM, material=CONCRETE
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEARING-1_BEARING, material=STEEL
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEARING-2_BEARING, material=STEEL
*solidsection, elset=ASSEMBLY_LOAD-1_LOAD, material=STEEL
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_STIRRUP, material=REBAR
***WARNING: FOR TWO-DIMENSIONAL MODELS, IF A NON-UNITY THICKNESS IS
SPECIFIED
    FOR TWO-DIMENSIONAL SOLID ELEMENTS AND THESE ELEMENTS ARE
INVOLVED
    IN AN INTERACTION SUCH AS CONTACT, THE SAME THICKNESS SHOULD BE
    SPECIFIED FOR THE OUT-OF-PLANE THICKNESS OF THE CORRESPONDING
    SURFACE UNDER *SURFACE INTERACTION.
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_COMREBAR, material=REBAR
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_TENREBAR, material=REBAR
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEAM-1_BEAM, material=CONCRETE
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEARING-1_BEARING, material=STEEL
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEARING-2_BEARING, material=STEEL
*solidsection, elset=ASSEMBLY_LOAD-1_LOAD, material=STEEL
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF99
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF100
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF101
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF102

```

```

*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF103
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF104
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF99
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF100
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF101
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF102
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF103
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF104
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF99
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF100
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF101
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF102
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF103
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF104
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*coupling,                                constraintname=ASSEMBLY_CONSTRAINT-1,
refnode=ASSEMBLY__PICKEDSET98, surface=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*coupling,                                constraintname=ASSEMBLY_CONSTRAINT-1,
refnode=ASSEMBLY__PICKEDSET98, surface=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*coupling,                                constraintname=ASSEMBLY_CONSTRAINT-1,
refnode=ASSEMBLY__PICKEDSET98, surface=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*kinematic
***WARNING: WHENEVER A TRANSLATION (ROTATION) DOF AT A NODE IS
CONSTRAINED BY
    A KINEMATIC COUPLING DEFINITION THE TRANSLATION (ROTATION) DOFS
    FOR THAT NODE CANNOT BE INCLUDED IN ANY OTHER CONSTRAINT
INCLUDING
    MPCs, RIGID BODIES, ETC.
*coupling,                                constraintname=ASSEMBLY_CONSTRAINT-1,
refnode=ASSEMBLY__PICKEDSET98, surface=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*embeddedelement
*embeddedelement
*embeddedelement
*embeddedelement
***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST
ELEMENT SET.
    SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS

```

ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

```

*embeddelement
***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST
ELEMENT SET.
    SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS
    ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY
CAUSE
    UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE
VICINITY
    INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS
WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.
*boundary
*boundary
*boundary
*boundary
*boundary
*boundary
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
***WARNING:      FOR      *TIE      PAIR      (ASSEMBLY__PICKEDSURF100-
ASSEMBLY__PICKEDSURF99),
    ADJUSTED NODES WITH VERY SMALL ADJUSTMENTS WERE NOT PRINTED.
    SPECIFY *PREPRINT,MODEL=YES FOR COMPLETE PRINTOUT.
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
***WARNING:      FOR      *TIE      PAIR      (ASSEMBLY__PICKEDSURF102-
ASSEMBLY__PICKEDSURF101),
    ADJUSTED NODES WITH VERY SMALL ADJUSTMENTS WERE NOT PRINTED.
    SPECIFY *PREPRINT,MODEL=YES FOR COMPLETE PRINTOUT.
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
***WARNING:      FOR      *TIE      PAIR      (ASSEMBLY__PICKEDSURF104-
ASSEMBLY__PICKEDSURF103),
    ADJUSTED NODES WITH VERY SMALL ADJUSTMENTS WERE NOT PRINTED.
    SPECIFY *PREPRINT,MODEL=YES FOR COMPLETE PRINTOUT.
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF99
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF100
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF101
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF102
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF103
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF104
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES

```

*embeddelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*output, field

*output, field, variable=PRESELECT

*output, history

*output, field

*elementoutput, directions=YES

*elementoutput

*elementoutput, directions=YES

*output, field

*output, field, variable=PRESELECT

*output, history

*output, field

*elementoutput, directions=YES

*elementoutput

*elementoutput, directions=YES

*output, field

*output, field, variable=PRESELECT

*output, history

```

*output, field
*elementoutput, directions=YES
*elementoutput
*elementoutput, directions=YES
***WARNING: MPCs (EXTERNAL or INTERNAL, including those generated from rigid
body definitions), KINEMATIC COUPLINGS, AND/OR EQUATIONS WILL
    ACTIVATE ADDITIONAL DEGREES OF FREEDOM
*amplitude, name=AMP-1
*Step, name=Step-1, nlgeom=NO, inc=1000
*output, field
*output, field, variable=PRESELECT
*output, history
*Step, name=Step-2, nlgeom=NO, perturbation
*frequency, eigensolver=LANCZOS, normalization=DISPLACEMENT, sim=NO,
acousticcoupling=ON
*output, field
*Step, name=Step-1, nlgeom=NO, inc=1000
*Step, name=Step-2, nlgeom=NO, perturbation
*Step, name=Step-1, nlgeom=NO, inc=1000
*static
*boundary
*boundary
*boundary
*output, field
*nodeoutput
*elementoutput, directions=YES
*output, field, variable=PRESELECT
*output, history
*elementoutput
*energyoutput
*endstep
***WARNING: OUTPUT REQUEST V IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF
ANALYSIS
***WARNING: OUTPUT REQUEST VT IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF
ANALYSIS
***WARNING: THE REQUEST FOR MISES OUTPUT WILL BE REPLACED BY A
REQUEST FOR S
    OUTPUT
***WARNING: OUTPUT VARIABLE ALPHAN HAS NO COMPONENTS IN THIS
ANALYSIS FOR
    ELEMENT TYPE C3D8R
***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST LE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN
THIS
ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.
***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST NE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN
THIS
ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

```

***WARNING: OUTPUT REQUEST CS11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST CTSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TRIAX IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT
TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT
TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT
TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VS IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT
TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT VARIABLE ALPHAN HAS NO COMPONENTS IN THIS ANALYSIS FOR
ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST LE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS
ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST NE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS
ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: OUTPUT REQUEST CS11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST CTSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT
TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT
TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEMAG IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT
TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TRIAX IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VS IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT VARIABLE ALPHAN HAS NO COMPONENTS IN THIS ANALYSIS FOR

ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST LE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST NE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: OUTPUT REQUEST CS11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST CTSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEMAG IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TRIAX IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VS IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT VARIABLE ALPHAN HAS NO COMPONENTS IN THIS ANALYSIS FOR

ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST LE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST NE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: OUTPUT REQUEST CS11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST CTSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEMAG IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TRIAX IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R
***WARNING: OUTPUT REQUEST VS IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R
***WARNING: OUTPUT VARIABLE ALPHAN HAS NO COMPONENTS IN THIS ANALYSIS FOR

ELEMENT TYPE T3D2
***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST LE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST NE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: OUTPUT REQUEST CS11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST CTSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST TRIAX IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE T3D2
***WARNING: OUTPUT REQUEST TSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST VE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE T3D2
***WARNING: OUTPUT REQUEST VEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE T3D2
***WARNING: OUTPUT REQUEST VS IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE T3D2
***WARNING: OUTPUT REQUEST SALPHA IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEP IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SSAVG IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SALPHA IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEP IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SSAVG IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SALPHA IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEP IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SSAVG IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SALPHA IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEP IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SSAVG IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SALPHA IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEP IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SSAVG IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRA1 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRA2 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRA3 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRAR1 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRAR2 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRAR3 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRF1 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRF2 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: MAXIMUM NUMBER OF OUTPUT RELATED WARNINGS HAS BEEN ISSUED.

SUBSEQUENT WARNINGS WILL BE SUPPRESSED. SET ABA_OUTPUT_DIAGNOSTICS TO unlimited TO OVERRIDE.

*Step, name=Step-2, nlgeom=NO, perturbation

*frequency, eigensolver=LANCZOS, normalization=DISPLACEMENT, sim=NO, acousticcoupling=ON

*frequency, eigensolver=LANCZOS, normalization=DISPLACEMENT, sim=NO, acousticcoupling=ON

*output, field

*nodeoutput

*elementoutput, directions=YES

*endstep

*Step, name=Step-1, nlgeom=NO, inc=1000

*static

*boundary

*boundary

*boundary

*endstep

*Step, name=Step-2, nlgeom=NO, perturbation

*frequency, eigensolver=LANCZOS, normalization=DISPLACEMENT, sim=NO, acousticcoupling=ON

*frequency, eigensolver=LANCZOS, normalization=DISPLACEMENT, sim=NO, acousticcoupling=ON

*endstep

PROBLEM SIZE

NUMBER OF ELEMENTS IS 669

NUMBER OF NODES IS 766

NUMBER OF NODES DEFINED BY THE USER 766

TOTAL NUMBER OF VARIABLES IN THE MODEL 2319

(DEGREES OF FREEDOM PLUS MAX NO.OF ANY LAGRANGE MULTIPLIER VARIABLES. INCLUDE *PRINT,SOLVE=YES TO GET THE ACTUAL NUMBER.)

END OF USER INPUT PROCESSING

JOB TIME SUMMARY

USER TIME (SEC) = 0.60000

SYSTEM TIME (SEC) = 0.50000

TOTAL CPU TIME (SEC) = 1.1000

WALLCLOCK TIME (SEC) = 9

1

Abaqus 3DEXPERIENCE R2017x

Date 09-juin-2025 Time 11:25:16

For use by Supplied by Team-SolidSQUAD under license from DassaultSystemes or its subsidiary.

STEP 1 INCREMENT 1

TIME COMPLETED IN THIS STEP 0.00

STEP 1 STATIC ANALYSIS

AUTOMATIC TIME CONTROL WITH -

A SUGGESTED INITIAL TIME INCREMENT OF 0.200

AND A TOTAL TIME PERIOD OF 500.
 THE MINIMUM TIME INCREMENT ALLOWED IS 5.000E-03
 THE MAXIMUM TIME INCREMENT ALLOWED IS 500.
 LINEAR EQUATION SOLVER TYPE DIRECT SPARSE
 UNSYMMETRIC MATRIX STORAGE AND SOLUTION WILL BE USED
 TOTAL MASS OF MODEL
 563.7149
 LOCATION OF THE CENTER OF MASS OF THE MODEL
 -1.650000 0.1337522 1.5611876E-09
 MOMENTS OF INERTIA ABOUT THE ORIGIN
 I(XX) I(YY) I(ZZ)
 19.60753 2116.418 2130.409
 PRODUCTS OF INERTIA ABOUT THE ORIGIN
 I(XY) I(XZ) I(YZ)
 124.4069 1.4521069E-06 -1.1716831E-07
 MOMENTS OF INERTIA ABOUT THE CENTER OF MASS
 I(XX) I(YY) I(ZZ)
 9.522866 581.7039 585.6103
 PRODUCTS OF INERTIA ABOUT THE CENTER OF MASS
 I(XY) I(XZ) I(YZ)
 -8.9956899E-08 -5.7264198E-15 5.4227463E-10
 MEMORY ESTIMATE

PROCESS	FLOATING PT OPERATIONS PER ITERATION	MINIMUM MEMORY REQUIRED (MB)	MEMORY TO MINIMIZE I/O (MB)
1	2.88E+007	19	30

NOTE:

(1) SINCE ABAQUS DOES NOT PRE-ALLOCATE MEMORY AND ONLY ALLOCATES MEMORY AS NEEDED DURING THE ANALYSIS,

THE MEMORY REQUIREMENT PRINTED HERE CAN ONLY BE VIEWED AS A GENERAL GUIDELINE BASED ON THE BEST

KNOWLEDGE AVAILABLE AT THE BEGINNING OF A STEP BEFORE THE SOLUTION PROCESS HAS BEGUN.

(2) THE ESTIMATE IS NORMALLY UPDATED AT THE BEGINNING OF EVERY STEP. IT IS THE MAXIMUM VALUE OF THE

ESTIMATE FROM THE CURRENT STEP TO THE LAST STEP OF THE ANALYSIS, WITH UNSYMMETRIC SOLUTION TAKEN INTO ACCOUNT IF APPLICABLE.

(3) SINCE THE ESTIMATE IS BASED ON THE ACTIVE DEGREES OF FREEDOM IN THE FIRST ITERATION OF THE

CURRENT STEP, THE MEMORY ESTIMATE MIGHT BE SIGNIFICANTLY DIFFERENT THAN ACTUAL USAGE FOR

PROBLEMS WITH SUBSTANTIAL CHANGES IN ACTIVE DEGREES OF FREEDOM BETWEEN STEPS (OR EVEN WITHIN THE SAME STEP). EXAMPLES ARE: PROBLEMS WITH SIGNIFICANT CONTACT CHANGES, PROBLEMS WITH MODEL

CHANGE, PROBLEMS WITH BOTH STATIC STEP AND STEADY STATE DYNAMIC PROCEDURES WHERE ACOUSTIC

ELEMENTS WILL ONLY BE ACTIVATED IN THE STEADY STATE DYNAMIC STEPS.

(4) FOR MULTI-PROCESS EXECUTION, THE ESTIMATED VALUE OF FLOATING POINT OPERATIONS FOR EACH PROCESS

IS BASED ON AN INITIAL SCHEDULING OF OPERATIONS AND MIGHT NOT REFLECT THE ACTUAL FLOATING

POINT OPERATIONS COMPLETED ON EACH PROCESS. OPERATIONS ARE DYNAMICALLY BALANCED DURING EXECUTION,

SO THE ACTUAL BALANCE OF OPERATIONS BETWEEN PROCESSES IS EXPECTED TO BE BETTER THAN THE ESTIMATE PRINTED HERE.

(5) THE UPPER LIMIT OF MEMORY THAT CAN BE ALLOCATED BY ABAQUS WILL IN GENERAL DEPEND ON THE VALUE OF THE "MEMORY" PARAMETER AND THE AMOUNT OF PHYSICAL MEMORY AVAILABLE ON THE MACHINE. PLEASE SEE

THE "ABAQUS ANALYSIS USER'S MANUAL" FOR MORE DETAILS. THE ACTUAL USAGE OF MEMORY AND OF DISK

SPACE FOR SCRATCH DATA WILL DEPEND ON THIS UPPER LIMIT AS WELL AS THE MEMORY REQUIRED TO MINIMIZE

I/O. IF THE MEMORY UPPER LIMIT IS GREATER THAN THE MEMORY REQUIRED TO MINIMIZE I/O, THEN THE ACTUAL

MEMORY USAGE WILL BE CLOSE TO THE ESTIMATED "MEMORY TO MINIMIZE I/O" VALUE, AND THE SCRATCH DISK

USAGE WILL BE CLOSE-TO-ZERO; OTHERWISE, THE ACTUAL MEMORY USED WILL BE CLOSE TO THE PREVIOUSLY

MENTIONED MEMORY LIMIT, AND THE SCRATCH DISK USAGE WILL BE ROUGHLY PROPORTIONAL TO THE DIFFERENCE

BETWEEN THE ESTIMATED "MEMORY TO MINIMIZE I/O" AND THE MEMORY UPPER LIMIT. HOWEVER ACCURATE

ESTIMATE OF THE SCRATCH DISK SPACE IS NOT POSSIBLE.

(6) USING "*RESTART, WRITE" CAN GENERATE A LARGE AMOUNT OF DATA WRITTEN IN THE WORK DIRECTORY.

1

Abaqus 3DEXPERIENCE R2017x

Date 09-juin-2025 Time 11:25:30

For use by Supplied by Team-SolidSQUAD under license from DassaultSystemes or its subsidiary.

STEP 2 INCREMENT 1

TIME COMPLETED IN THIS STEP 0.00

STEP 2 CALCULATION OF EIGENVALUES

FOR NATURAL FREQUENCIES

THE LANCZOS EIGENSOLVER IS USED FOR THIS ANALYSIS

Abaqus WILL COMPUTE UNCOUPLED

STRUCTURAL AND ACOUSTIC MODES

NUMBER OF EIGENVALUES 10

HIGHEST FREQUENCY OF INTEREST 1.00000E+18

MAXIMUM NUMBER OF STEPS WITHIN RUN 35

BLOCK SIZE FOR LANCZOS PROCEDURE 7
 THE EIGENVECTORS ARE SCALED SO THAT
 THE LARGEST DISPLACEMENT ENTRY IN EACH VECTOR
 IS UNITY

THIS IS A LINEAR PERTURBATION STEP.

ALL LOADS ARE DEFINED AS CHANGE IN LOAD TO THE REFERENCE STATE

MEMORY ESTIMATE

PROCESS	FLOATING PT OPERATIONS PER ITERATION	MINIMUM MEMORY REQUIRED (MB)	MEMORY TO MINIMIZE I/O (MB)
1	2.90E+007	17	28

NOTE:

(1) SINCE ABAQUS DOES NOT PRE-ALLOCATE MEMORY AND ONLY ALLOCATES MEMORY AS NEEDED DURING THE ANALYSIS,

THE MEMORY REQUIREMENT PRINTED HERE CAN ONLY BE VIEWED AS A GENERAL GUIDELINE BASED ON THE BEST

KNOWLEDGE AVAILABLE AT THE BEGINNING OF A STEP BEFORE THE SOLUTION PROCESS HAS BEGUN.

(2) THE ESTIMATE IS NORMALLY UPDATED AT THE BEGINNING OF EVERY STEP. IT IS THE MAXIMUM VALUE OF THE

ESTIMATE FROM THE CURRENT STEP TO THE LAST STEP OF THE ANALYSIS, WITH UNSYMMETRIC SOLUTION TAKEN INTO ACCOUNT IF APPLICABLE.

(3) SINCE THE ESTIMATE IS BASED ON THE ACTIVE DEGREES OF FREEDOM IN THE FIRST ITERATION OF THE

CURRENT STEP, THE MEMORY ESTIMATE MIGHT BE SIGNIFICANTLY DIFFERENT THAN ACTUAL USAGE FOR

PROBLEMS WITH SUBSTANTIAL CHANGES IN ACTIVE DEGREES OF FREEDOM BETWEEN STEPS (OR EVEN WITHIN THE SAME STEP). EXAMPLES ARE: PROBLEMS WITH SIGNIFICANT CONTACT CHANGES, PROBLEMS WITH MODEL

CHANGE, PROBLEMS WITH BOTH STATIC STEP AND STEADY STATE DYNAMIC PROCEDURES WHERE ACOUSTIC

ELEMENTS WILL ONLY BE ACTIVATED IN THE STEADY STATE DYNAMIC STEPS.

(4) FOR MULTI-PROCESS EXECUTION, THE ESTIMATED VALUE OF FLOATING POINT OPERATIONS FOR EACH PROCESS

IS BASED ON AN INITIAL SCHEDULING OF OPERATIONS AND MIGHT NOT REFLECT THE ACTUAL FLOATING

POINT OPERATIONS COMPLETED ON EACH PROCESS. OPERATIONS ARE DYNAMICALLY BALANCED DURING EXECUTION,

SO THE ACTUAL BALANCE OF OPERATIONS BETWEEN PROCESSES IS EXPECTED TO BE BETTER THAN THE ESTIMATE PRINTED HERE.

(5) THE UPPER LIMIT OF MEMORY THAT CAN BE ALLOCATED BY ABAQUS WILL IN GENERAL DEPEND ON THE VALUE OF

THE "MEMORY" PARAMETER AND THE AMOUNT OF PHYSICAL MEMORY AVAILABLE ON THE MACHINE. PLEASE SEE

THE "ABAQUS ANALYSIS USER'S MANUAL" FOR MORE DETAILS. THE ACTUAL USAGE OF MEMORY AND OF DISK

SPACE FOR SCRATCH DATA WILL DEPEND ON THIS UPPER LIMIT AS WELL AS THE MEMORY REQUIRED TO MINIMIZE

I/O. IF THE MEMORY UPPER LIMIT IS GREATER THAN THE MEMORY REQUIRED TO MINIMIZE I/O, THEN THE ACTUAL

MEMORY USAGE WILL BE CLOSE TO THE ESTIMATED "MEMORY TO MINIMIZE I/O" VALUE, AND THE SCRATCH DISK

USAGE WILL BE CLOSE-TO-ZERO; OTHERWISE, THE ACTUAL MEMORY USED WILL BE CLOSE TO THE PREVIOUSLY

MENTIONED MEMORY LIMIT, AND THE SCRATCH DISK USAGE WILL BE ROUGHLY PROPORTIONAL TO THE DIFFERENCE

BETWEEN THE ESTIMATED "MEMORY TO MINIMIZE I/O" AND THE MEMORY UPPER LIMIT. HOWEVER ACCURATE

ESTIMATE OF THE SCRATCH DISK SPACE IS NOT POSSIBLE.

(6) USING "**RESTART, WRITE" CAN GENERATE A LARGE AMOUNT OF DATA WRITTEN IN THE WORK DIRECTORY.

E I G E N V A L U E O U T P U T

MODE NO EIGENVALUE FREQUENCY GENERALIZED MASS
COMPOSITE MODAL DAMPING

(RAD/TIME) (CYCLES/TIME)

1	19542.	139.79	22.248	224.75	0.0000	
2	5.42178E+05	736.33	117.19	180.50	0.0000	
3	2.23023E+06	1493.4	237.68	68.240	0.0000	
4	3.09909E+06	1760.4	280.18	170.71	0.0000	
5	5.08241E+06	2254.4	358.80	222.72	0.0000	
6	8.78862E+06	2964.6	471.82	200.71	0.0000	
7	8.80952E+06	2968.1	472.39	98.170	0.0000	
8	9.76823E+06	3125.4	497.43	93.407	0.0000	
9	1.63943E+07	4049.0	644.42	103.88	0.0000	
10	1.81960E+07	4265.7	678.90	39.371	0.0000	

P A R T I C I P A T I O N F A C T O R S

MODE NO X-COMPONENT Y-COMPONENT Z-COMPONENT X-ROTATION Y-ROTATION Z-ROTATION

1	2.40288E-10	-3.56064E-11	1.2792	0.17247	1.1719	2.13766E-11
2	-2.55477E-10	-1.59030E-09	0.59629	0.13206	1.8485	2.68952E-09
3	-1.39988E-11	-3.06505E-08	-4.31970E-03	0.28346	-1.24856E-02	5.05143E-08
4	-2.26546E-10	1.34510E-09	0.40485	3.76188E-02	1.0147	-7.20468E-10
5	0.38191	8.99466E-04	-7.36918E-10	-8.05019E-11	-1.24346E-09	0.75540
6	-1.20748E-04	1.2648	1.63232E-07	3.39015E-08	5.22771E-07	-2.0874
7	-1.39750E-10	-1.06124E-06	0.39574	8.15755E-02	1.2674	1.75143E-06
8	2.38059E-09	-8.33495E-09	6.74198E-02	2.59252E-02	0.19199	1.46451E-08
9	1.9046	-3.43903E-04	-1.43081E-09	2.65040E-09	2.64444E-09	-0.44120
10	2.20301E-05	2.18155E-03	1.47701E-11	-1.20596E-11	4.39154E-11	-3.60125E-03

E F F E C T I V E M A S S

MODE NO	X-COMPONENT	Y-COMPONENT	Z-COMPONENT	X-ROTATION	Y-ROTATION	Z-ROTATION
1	1.29765E-17	2.84938E-19	367.76	6.6856	308.63	1.02700E-19
2	1.17811E-17	4.56495E-16	64.179	3.1477	616.73	1.30565E-15
3	1.33727E-20	6.41085E-14	1.27334E-03	5.4829	1.06379E-02	1.74127E-13
4	8.76122E-18	3.08860E-16	27.980	0.24158	175.75	8.86101E-17
5	32.484	1.80186E-04	1.20945E-16	1.44332E-18	3.44361E-16	127.09
6	2.92629E-06	321.07	5.34772E-12	2.30673E-13	5.48506E-11	874.51
7	1.91725E-18	1.10561E-10	15.374	0.65328	157.69	3.01137E-10
8	5.29353E-16	6.48910E-15	0.42457	6.27802E-02	3.4429	2.00339E-14
9	376.80	1.22856E-05	2.12661E-16	7.29703E-16	7.26423E-16	20.221
10	1.91076E-08	1.87371E-04	8.58889E-21	5.72579E-21	7.59288E-20	5.10598E-04
TOTAL	409.29	321.07	475.72	16.274	1262.3	1021.8

THE ANALYSIS HAS BEEN COMPLETED

ANALYSIS COMPLETE

WITH 121 WARNING MESSAGES ON THE DAT FILE

JOB TIME SUMMARY

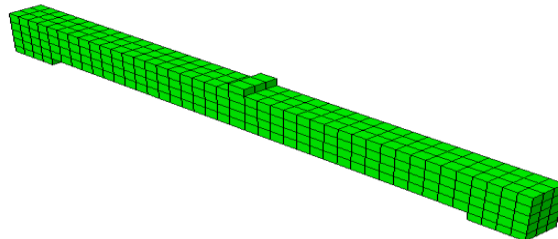
USER TIME (SEC) = 5.4000

SYSTEM TIME (SEC) = 1.2000

TOTAL CPU TIME (SEC) = 6.6000

WALLCLOCK TIME (SEC) = 16

Annexe (B)



1

Abaqus 3DEXPERIENCE R2017x

Date 09-juin-2025 Time 11:38:24

For use by Supplied by Team-SolidSQUAD under license from DassaultSystemes or its subsidiary.

The Abaqus Software is a product of:

DassaultSystemes SIMULIA Corp.

1301 Atwood Avenue, Suite 101W

Johnston, RI 02919, USA

The Abaqus Software is available only under license from DassaultSystemes or its subsidiary and may be used or reproduced only in accordance with the terms of such license.

On machine DESKTOP-2Q0BEVH
you are authorized to run

Abaqus/Standard until 31-Dec-2055

Your site id is:

For assistance or any other information you may
obtain contact information for your local office
from the world wide web at:

<http://www.3ds.com/products/simulia/locations/>

```
*****
*
*
* *****
* * NOTICE *
* *****
*
*
*
* Abaqus 3DEXPERIENCE R2017x
*
* BUILD ID: 2016_09_27-22.54.59 126836
*
*
*
* Please make sure you are using
* release 3DEXPERIENCE R2017x manuals
* plus the notes accompanying this release.
*
*
*
*
*****
```

PROCESSING PART, INSTANCE, AND ASSEMBLY INFORMATION

END PROCESSING PART, INSTANCE, AND ASSEMBLY INFORMATION

OPTIONS BEING PROCESSED

```
*Heading
*Node
*Element, type=T3D2
*Nset, nset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_COMREBAR
*Nset, nset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_STIRRUP
*Nset, nset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_TENREBAR
*Elset, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_COMREBAR
*Elset, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_STIRRUP
*Elset, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_TENREBAR
*Node
*Element, type=C3D8R
*Nset, nset=ASSEMBLY_BEAM-1_BEAM
*Elset, elset=ASSEMBLY_BEAM-1_BEAM
*Node
*Element, type=C3D8R
```

```

*Nset, nset=ASSEMBLY_BEARING-1_BEARING
*Elset, elset=ASSEMBLY_BEARING-1_BEARING
*Node
*Element, type=C3D8R
*Nset, nset=ASSEMBLY_BEARING-2_BEARING
*Elset, elset=ASSEMBLY_BEARING-2_BEARING
*Node
*Element, type=C3D8R
*Nset, nset=ASSEMBLY_LOAD-1_LOAD
*Elset, elset=ASSEMBLY_LOAD-1_LOAD
*Node
*Nset, nset=ASSEMBLY__PICKEDSET105
*Nset, nset=ASSEMBLY__PICKEDSET106
*Nset, nset=ASSEMBLY__PICKEDSET107
*Nset, nset=ASSEMBLY__PICKEDSET98
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSET106
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSET107
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF100_S6
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF101_S6
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF102_S4
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF103_S6
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF104_S4
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF97_S4
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF99_S4
*material, name=CONCRETE
*density
*elastic
*concretedamagedplasticity
*concretecompressionhardening
*concretetensionstiffening
*material, name=REBAR
*density
*elastic
*plastic
*material, name=STEEL
*density
*elastic
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_STIRRUP, material=REBAR
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_COMREBAR, material=REBAR
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_TENREBAR, material=REBAR
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEAM-1_BEAM, material=CONCRETE
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEARING-1_BEARING, material=STEEL
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEARING-2_BEARING, material=STEEL
*solidsection, elset=ASSEMBLY_LOAD-1_LOAD, material=STEEL
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_STIRRUP, material=REBAR
***WARNING: FOR TWO-DIMENSIONAL MODELS, IF A NON-UNITY THICKNESS IS
SPECIFIED

```

FOR TWO-DIMENSIONAL SOLID ELEMENTS AND THESE ELEMENTS ARE INVOLVED

IN AN INTERACTION SUCH AS CONTACT, THE SAME THICKNESS SHOULD BE SPECIFIED FOR THE OUT-OF-PLANE THICKNESS OF THE CORRESPONDING SURFACE UNDER *SURFACE INTERACTION.

```
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_COMREBAR, material=REBAR
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_TENREBAR, material=REBAR
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEAM-1_BEAM, material=CONCRETE
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEARING-1_BEARING, material=STEEL
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEARING-2_BEARING, material=STEEL
*solidsection, elset=ASSEMBLY_LOAD-1_LOAD, material=STEEL
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF99
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF100
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF101
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF102
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF103
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF104
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF99
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF100
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF101
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF102
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF103
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF104
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF99
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF100
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF101
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF102
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF103
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF104
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*coupling, constraintname=ASSEMBLY_CONSTRAINT-1,
refnode=ASSEMBLY__PICKEDSET98, surface=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
```

*coupling, constraintname=ASSEMBLY_CONSTRAINT-1,
refnode=ASSEMBLY__PICKEDSET98, surface=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*coupling, constraintname=ASSEMBLY_CONSTRAINT-1,
refnode=ASSEMBLY__PICKEDSET98, surface=ASSEMBLY__PICKEDSURF97

*kinematic

***WARNING: WHENEVER A TRANSLATION (ROTATION) DOF AT A NODE IS
CONSTRAINED BY

A KINEMATIC COUPLING DEFINITION THE TRANSLATION (ROTATION) DOFS
FOR THAT NODE CANNOT BE INCLUDED IN ANY OTHER CONSTRAINT
INCLUDING

MPCS, RIGID BODIES, ETC.

*coupling, constraintname=ASSEMBLY_CONSTRAINT-1,
refnode=ASSEMBLY__PICKEDSET98, surface=ASSEMBLY__PICKEDSURF97

*embeddedelement

*embeddedelement

*embeddedelement

*embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST
ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS
ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY
CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE
VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS
WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST
ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS
ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY
CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE
VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS
WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST
ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS
ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY
CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE
VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS
WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*boundary

*boundary

*boundary

*boundary

*boundary

*boundary

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES

***WARNING: FOR *TIE PAIR (ASSEMBLY__PICKEDSURF100-ASSEMBLY__PICKEDSURF99),

ADJUSTED NODES WITH VERY SMALL ADJUSTMENTS WERE NOT PRINTED.

SPECIFY *PREPRINT,MODEL=YES FOR COMPLETE PRINTOUT.

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES

***WARNING: FOR *TIE PAIR (ASSEMBLY__PICKEDSURF102-ASSEMBLY__PICKEDSURF101),

ADJUSTED NODES WITH VERY SMALL ADJUSTMENTS WERE NOT PRINTED.

SPECIFY *PREPRINT,MODEL=YES FOR COMPLETE PRINTOUT.

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES

***WARNING: FOR *TIE PAIR (ASSEMBLY__PICKEDSURF104-
ASSEMBLY__PICKEDSURF103),

ADJUSTED NODES WITH VERY SMALL ADJUSTMENTS WERE NOT PRINTED.
SPECIFY *PREPRINT,MODEL=YES FOR COMPLETE PRINTOUT.

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF99
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF100
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF101
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF102
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF103
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF104
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*embeddelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST
ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS
ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY
CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE
VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS
WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST
ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS
ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY
CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE
VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS
WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST
ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS
ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY
CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

```
*output, field
*output, field, variable=PRESELECT
*output, history
*output, field
*elementoutput, directions=YES
*elementoutput
*elementoutput, directions=YES
*output, field
*output, field, variable=PRESELECT
*output, history
*output, field
*elementoutput, directions=YES
*elementoutput
*elementoutput, directions=YES
*output, field
*output, field, variable=PRESELECT
*output, history
*output, field
*elementoutput, directions=YES
*elementoutput
*elementoutput, directions=YES
***WARNING: MPCs (EXTERNAL or INTERNAL, including those generated from rigid
body definitions), KINEMATIC COUPLINGS, AND/OR EQUATIONS WILL
    ACTIVATE ADDITIONAL DEGREES OF FREEDOM
*amplitude, name=AMP-1
*Step, name=Step-1, nlgeom=NO, inc=1000
*output, field
*output, field, variable=PRESELECT
*output, history
*Step, name=Step-2, nlgeom=NO, perturbation
*frequency,      eigensolver=LANCZOS,      normalization=DISPLACEMENT,      sim=NO,
acousticcoupling=ON
*output, field
*Step, name=Step-1, nlgeom=NO, inc=1000
*Step, name=Step-2, nlgeom=NO, perturbation
*Step, name=Step-1, nlgeom=NO, inc=1000
*static
*boundary
*boundary
*boundary
*output, field
*nodeoutput
*elementoutput, directions=YES
```

*output, field, variable=PRESELECT

*output, history

*elementoutput

*energyoutput

*endstep

***WARNING: OUTPUT REQUEST V IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST VT IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: THE REQUEST FOR MISES OUTPUT WILL BE REPLACED BY A REQUEST FOR S

OUTPUT

***WARNING: OUTPUT VARIABLE ALPHAN HAS NO COMPONENTS IN THIS ANALYSIS FOR

ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST LE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST NE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: OUTPUT REQUEST CS11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST CTSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TRIAX IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VS IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT VARIABLE ALPHAN HAS NO COMPONENTS IN THIS ANALYSIS FOR

ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST LE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST NE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: OUTPUT REQUEST CS11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST CTSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEMAG IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TRIAX IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VS IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT VARIABLE ALPHAN HAS NO COMPONENTS IN THIS ANALYSIS FOR

ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST LE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST NE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: OUTPUT REQUEST CS11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST CTSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEMAG IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TRIAX IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VS IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT VARIABLE ALPHAN HAS NO COMPONENTS IN THIS ANALYSIS FOR

ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST LE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST NE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: OUTPUT REQUEST CS11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST CTSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEMAG IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TRIAX IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VS IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT VARIABLE ALPHAN HAS NO COMPONENTS IN THIS ANALYSIS FOR

ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST LE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST NE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: OUTPUT REQUEST CS11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST CTSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST TRIAX IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST TSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST VE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST VEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST VS IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SALPHA IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEP IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SSAVG IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SALPHA IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEP IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SSAVG IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SALPHA IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEP IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SSAVG IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SALPHA IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEP IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SSAVG IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SALPHA IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEP IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SSAVG IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRA1 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRA2 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRA3 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRAR1 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRAR2 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRAR3 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRF1 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRF2 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: MAXIMUM NUMBER OF OUTPUT RELATED WARNINGS HAS BEEN ISSUED.

SUBSEQUENT WARNINGS WILL BE SUPPRESSED. SET
ABA_OUTPUT_DIAGNOSTICS
TO unlimited TO OVERRIDE.

*Step, name=Step-2, nlgeom=NO, perturbation

*frequency, eigensolver=LANCZOS, normalization=DISPLACEMENT, sim=NO,
acousticcoupling=ON

*frequency, eigensolver=LANCZOS, normalization=DISPLACEMENT, sim=NO,
acousticcoupling=ON

*output, field

*nodeoutput

*elementoutput, directions=YES

*endstep

*Step, name=Step-1, nlgeom=NO, inc=1000

*static

*boundary

*boundary

*boundary

*endstep

*Step, name=Step-2, nlgeom=NO, perturbation

*frequency, eigensolver=LANCZOS, normalization=DISPLACEMENT, sim=NO,
acousticcoupling=ON

*frequency, eigensolver=LANCZOS, normalization=DISPLACEMENT, sim=NO,
acousticcoupling=ON

*endstep

PROBLEM SIZE
NUMBER OF ELEMENTS IS

1009

```

NUMBER OF NODES IS                      1267
NUMBER OF NODES DEFINED BY THE USER    1267
TOTAL NUMBER OF VARIABLES IN THE MODEL  3828
(DEGREES OF FREEDOM PLUS MAX NO.OF ANY LAGRANGE MULTIPLIER
VARIABLES. INCLUDE *PRINT,SOLVE=YES TO GET THE ACTUAL NUMBER.)
END OF USER INPUT PROCESSING
JOB TIME SUMMARY
  USER TIME (SEC)   = 0.50000
  SYSTEM TIME (SEC) = 0.20000
  TOTAL CPU TIME (SEC) = 0.70000
  WALLCLOCK TIME (SEC) =      3
1
Abaqus 3DEXPERIENCE R2017x                      Date 09-juin-2025  Time 11:38:35
For use by Supplied by Team-SolidSQUAD under license from DassaultSystemes or its subsidiary.
STEP 1 INCREMENT 1
TIME COMPLETED IN THIS STEP 0.00

STEP 1 STATIC ANALYSIS
AUTOMATIC TIME CONTROL WITH -
  A SUGGESTED INITIAL TIME INCREMENT OF      0.200
AND A TOTAL TIME PERIOD OF      500.
  THE MINIMUM TIME INCREMENT ALLOWED IS      5.000E-03
  THE MAXIMUM TIME INCREMENT ALLOWED IS      500.
LINEAR EQUATION SOLVER TYPE    DIRECT SPARSE
UNSYMMETRIC MATRIX STORAGE AND SOLUTION WILL BE USED
TOTAL MASS OF MODEL
  563.7149
LOCATION OF THE CENTER OF MASS OF THE MODEL
  -1.650000    0.1337522    1.5611876E-09
MOMENTS OF INERTIA ABOUT THE ORIGIN
I(XX)    I(YY)    I(ZZ)
  18.75729    2115.598    2129.746

PRODUCTS OF INERTIA ABOUT THE ORIGIN
I(XY)    I(XZ)    I(YZ)
124.4069    1.4521069E-06    -1.1716831E-07
MOMENTS OF INERTIA ABOUT THE CENTER OF MASS
I(XX)    I(YY)    I(ZZ)
  8.672629    580.8842    584.9478
PRODUCTS OF INERTIA ABOUT THE CENTER OF MASS
I(XY)    I(XZ)    I(YZ)
  -9.0394607E-08    -2.2019941E-14    5.4227603E-10
MEMORY ESTIMATE
PROCESS  FLOATING PT  MINIMUM MEMORY  MEMORY TO
OPERATIONS  REQUIRED  MINIMIZE I/O
PER ITERATION  (MB)  (MB)
1    1.02E+008    20    43

```

NOTE:

(1) SINCE ABAQUS DOES NOT PRE-ALLOCATE MEMORY AND ONLY ALLOCATES MEMORY AS NEEDED DURING THE ANALYSIS,

THE MEMORY REQUIREMENT PRINTED HERE CAN ONLY BE VIEWED AS A GENERAL GUIDELINE BASED ON THE BEST

KNOWLEDGE AVAILABLE AT THE BEGINNING OF A STEP BEFORE THE SOLUTION PROCESS HAS BEGUN.

(2) THE ESTIMATE IS NORMALLY UPDATED AT THE BEGINNING OF EVERY STEP. IT IS THE MAXIMUM VALUE OF THE

ESTIMATE FROM THE CURRENT STEP TO THE LAST STEP OF THE ANALYSIS, WITH UNSYMMETRIC SOLUTION TAKEN INTO ACCOUNT IF APPLICABLE.

(3) SINCE THE ESTIMATE IS BASED ON THE ACTIVE DEGREES OF FREEDOM IN THE FIRST ITERATION OF THE

CURRENT STEP, THE MEMORY ESTIMATE MIGHT BE SIGNIFICANTLY DIFFERENT THAN ACTUAL USAGE FOR

PROBLEMS WITH SUBSTANTIAL CHANGES IN ACTIVE DEGREES OF FREEDOM BETWEEN STEPS (OR EVEN WITHIN THE SAME STEP). EXAMPLES ARE: PROBLEMS WITH SIGNIFICANT CONTACT CHANGES, PROBLEMS WITH MODEL

CHANGE, PROBLEMS WITH BOTH STATIC STEP AND STEADY STATE DYNAMIC PROCEDURES WHERE ACOUSTIC

ELEMENTS WILL ONLY BE ACTIVATED IN THE STEADY STATE DYNAMIC STEPS.

(4) FOR MULTI-PROCESS EXECUTION, THE ESTIMATED VALUE OF FLOATING POINT OPERATIONS FOR EACH PROCESS

IS BASED ON AN INITIAL SCHEDULING OF OPERATIONS AND MIGHT NOT REFLECT THE ACTUAL FLOATING

POINT OPERATIONS COMPLETED ON EACH PROCESS. OPERATIONS ARE DYNAMICALLY BALANCED DURING EXECUTION,

SO THE ACTUAL BALANCE OF OPERATIONS BETWEEN PROCESSES IS EXPECTED TO BE BETTER THAN THE ESTIMATE PRINTED HERE.

(5) THE UPPER LIMIT OF MEMORY THAT CAN BE ALLOCATED BY ABAQUS WILL IN GENERAL DEPEND ON THE VALUE OF

THE "MEMORY" PARAMETER AND THE AMOUNT OF PHYSICAL MEMORY AVAILABLE ON THE MACHINE. PLEASE SEE

THE "ABAQUS ANALYSIS USER'S MANUAL" FOR MORE DETAILS. THE ACTUAL USAGE OF MEMORY AND OF DISK

SPACE FOR SCRATCH DATA WILL DEPEND ON THIS UPPER LIMIT AS WELL AS THE MEMORY REQUIRED TO MINIMIZE

I/O. IF THE MEMORY UPPER LIMIT IS GREATER THAN THE MEMORY REQUIRED TO MINIMIZE I/O, THEN THE ACTUAL

MEMORY USAGE WILL BE CLOSE TO THE ESTIMATED "MEMORY TO MINIMIZE I/O" VALUE, AND THE SCRATCH DISK

USAGE WILL BE CLOSE-TO-ZERO; OTHERWISE, THE ACTUAL MEMORY USED WILL BE CLOSE TO THE PREVIOUSLY

MENTIONED MEMORY LIMIT, AND THE SCRATCH DISK USAGE WILL BE ROUGHLY PROPORTIONAL TO THE DIFFERENCE BETWEEN THE ESTIMATED "MEMORY TO MINIMIZE I/O" AND THE MEMORY UPPER LIMIT. HOWEVER ACCURATE

ESTIMATE OF THE SCRATCH DISK SPACE IS NOT POSSIBLE.

(6) USING "*RESTART, WRITE" CAN GENERATE A LARGE AMOUNT OF DATA WRITTEN IN THE WORK DIRECTORY.

1

Abaqus 3DEXPERIENCE R2017x

Date 09-juin-2025 Time 11:38:45

For use by Supplied by Team-SolidSQUAD under license from DassaultSystemes or its subsidiary.

STEP 2 INCREMENT 1

TIME COMPLETED IN THIS STEP 0.00

STEP 2 CALCULATION OF EIGENVALUES FOR NATURAL FREQUENCIES

THE LANCZOS EIGENSOLVER IS USED FOR THIS ANALYSIS

Abaqus WILL COMPUTE UNCOUPLED

STRUCTURAL AND ACOUSTIC MODES

NUMBER OF EIGENVALUES 10

HIGHEST FREQUENCY OF INTEREST 1.00000E+18

MAXIMUM NUMBER OF STEPS WITHIN RUN 35

BLOCK SIZE FOR LANCZOS PROCEDURE 7

THE EIGENVECTORS ARE SCALED SO THAT

THE LARGEST DISPLACEMENT ENTRY IN EACH VECTOR
IS UNITY

THIS IS A LINEAR PERTURBATION STEP.

ALL LOADS ARE DEFINED AS CHANGE IN LOAD TO THE REFERENCE STATE

MEMORY ESTIMATE

PROCESS	FLOATING PT OPERATIONS PER ITERATION	MINIMUM MEMORY REQUIRED (MB)	MEMORY TO MINIMIZE I/O (MB)
1	1.03E+008	19	41

NOTE:

(1) SINCE ABAQUS DOES NOT PRE-ALLOCATE MEMORY AND ONLY ALLOCATES MEMORY AS NEEDED DURING THE ANALYSIS,

THE MEMORY REQUIREMENT PRINTED HERE CAN ONLY BE VIEWED AS A GENERAL GUIDELINE BASED ON THE BEST

KNOWLEDGE AVAILABLE AT THE BEGINNING OF A STEP BEFORE THE SOLUTION PROCESS HAS BEGUN.

(2) THE ESTIMATE IS NORMALLY UPDATED AT THE BEGINNING OF EVERY STEP. IT IS THE MAXIMUM VALUE OF THE

ESTIMATE FROM THE CURRENT STEP TO THE LAST STEP OF THE ANALYSIS, WITH UNSYMMETRIC SOLUTION TAKEN INTO ACCOUNT IF APPLICABLE.

(3) SINCE THE ESTIMATE IS BASED ON THE ACTIVE DEGREES OF FREEDOM IN THE FIRST ITERATION OF THE

CURRENT STEP, THE MEMORY ESTIMATE MIGHT BE SIGNIFICANTLY DIFFERENT THAN ACTUAL USAGE FOR

6	9.04217E+06	3007.0	478.58	205.91	0.0000
7	9.37103E+06	3061.2	487.21	124.15	0.0000
8	1.17065E+07	3421.5	544.55	98.500	0.0000
9	1.66784E+07	4083.9	649.98	125.50	0.0000
10	2.12936E+07	4614.5	734.42	112.88	0.0000

PARTICIPATION FACTORS

MODE NO	X-COMPONENT	Y-COMPONENT	Z-COMPONENT	X-ROTATION	Y-ROTATION	Z-ROTATION
1	4.21145E-10	-3.60108E-11	1.2805	0.17257	1.1749	6.40775E-11
2	-4.41278E-10	-1.54567E-09	0.58697	0.12624	1.8205	2.50107E-09
3	-7.78758E-11	-3.68834E-08	3.56146E-02	0.29210	9.83496E-02	6.08044E-08
4	-1.39648E-09	2.21767E-09	0.38490	3.12666E-02	0.96724	-5.12116E-09
5	0.37469	3.80471E-05	7.61191E-10	8.20948E-11	2.93296E-09	0.75158
6	-2.57080E-05	1.2597	1.68267E-08	3.65115E-09	5.37348E-08	-2.0784
7	-1.09166E-09	-9.31628E-08	0.36307	7.31200E-02	1.1568	1.53164E-07
8	5.71686E-09	-2.21160E-09	-4.05233E-02	5.61960E-03	-0.13769	4.88232E-09
9	1.7713	4.98879E-06	-1.25125E-10	-1.52128E-11	3.47615E-09	-0.41715
10	4.11025E-11	5.71387E-10	-0.32577	-7.00556E-02	-0.94237	-6.45652E-09

EFFECTIVE MASS

MODE NO	X-COMPONENT	Y-COMPONENT	Z-COMPONENT	X-ROTATION	Y-ROTATION	Z-ROTATION
1	3.98259E-17	2.91184E-19	368.18	6.6872	309.96	9.21961E-19
2	3.64577E-17	4.47297E-16	64.505	2.9839	620.49	1.17116E-15
3	3.64440E-19	8.17492E-14	7.62216E-02	5.1272	0.58125	2.22173E-13
4	3.69522E-16	9.31890E-16	28.072	0.18524	177.27	4.96944E-15
5	32.076	3.30735E-07	1.32381E-16	1.53981E-18	1.96539E-15	129.06
6	1.36086E-07	326.72	5.83005E-14	2.74495E-15	5.94548E-13	889.51
7	1.47950E-16	1.07753E-12	16.365	0.66377	166.13	2.91243E-12
8	3.21921E-15	4.81779E-16	0.16175	3.11061E-03	1.8673	2.34794E-15
9	393.74	3.12352E-09	1.96491E-18	2.90450E-20	1.51653E-15	21.840
10	1.90707E-19	3.68544E-17	11.979	0.55401	100.25	4.70572E-15
TOTAL	425.82	326.72	489.34	16.204	1376.6	1040.4

THE ANALYSIS HAS BEEN COMPLETED

ANALYSIS COMPLETE

WITH 121 WARNING MESSAGES ON THE DAT FILE

JOB TIME SUMMARY

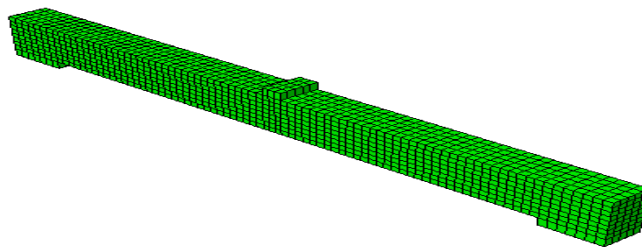
USER TIME (SEC) = 6.8000

SYSTEM TIME (SEC) = 1.3000

TOTAL CPU TIME (SEC) = 8.1000

WALLCLOCK TIME (SEC) = 11

Annexe (C)



1

Abaqus 3DEXPERIENCE R2017x

Date 10-juin-2025 Time 22:53:35

For use by Supplied by Team-SolidSQUAD under license from DassaultSystemes or its subsidiary.

The Abaqus Software is a product of:

DassaultSystemes SIMULIA Corp.

1301 Atwood Avenue, Suite 101W

Johnston, RI 02919, USA

The Abaqus Software is available only under license from DassaultSystemes or its subsidiary and may be used or reproduced only in accordance with the terms of such license.

On machine DESKTOP-2Q0BEVH

you are authorized to run

Abaqus/Standard until 31-Dec-2055

Your site id is:

For assistance or any other information you may

obtain contact information for your local office
from the world wide web at:

<http://www.3ds.com/products/simulia/locations/>

```

*****
*                                     *
*               *****               *
*           * NOTICE *               *
*           *****               *
*               *               *
*               *               *
*       Abaqus 3DEXPERIENCE R2017x           *
*               *               *
*   BUILD ID: 2016_09_27-22.54.59 126836       *
*               *               *
*               *               *
* Please make sure you are using           *
* release 3DEXPERIENCE R2017x manuals       *
* plus the notes accompanying this release. *
*               *               *
*               *               *
*               *               *
*               *               *
*****

PROCESSING PART, INSTANCE, AND ASSEMBLY INFORMATION
*****

END PROCESSING PART, INSTANCE, AND ASSEMBLY INFORMATION
*****

OPTIONS BEING PROCESSED
*****
*Heading
*Node
*Element, type=T3D2
*Nset, nset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_COMREBAR
*Nset, nset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_STIRRUP
*Nset, nset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_TENREBAR
*Elset, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_COMREBAR
*Elset, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_STIRRUP
*Elset, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_TENREBAR
*Node
*Element, type=C3D8R
*Nset, nset=ASSEMBLY_BEAM-1_BEAM
*Elset, elset=ASSEMBLY_BEAM-1_BEAM
*Node
*Element, type=C3D8R
*Nset, nset=ASSEMBLY_BEARING-1_BEARING
*Elset, elset=ASSEMBLY_BEARING-1_BEARING
*Node

```

```

*Element, type=C3D8R
*Nset, nset=ASSEMBLY_BEARING-2_BEARING
*Elset, elset=ASSEMBLY_BEARING-2_BEARING
*Node
*Element, type=C3D8R
*Nset, nset=ASSEMBLY_LOAD-1_LOAD
*Elset, elset=ASSEMBLY_LOAD-1_LOAD
*Node
*Nset, nset=ASSEMBLY__PICKEDSET105
*Nset, nset=ASSEMBLY__PICKEDSET106
*Nset, nset=ASSEMBLY__PICKEDSET107
*Nset, nset=ASSEMBLY__PICKEDSET98
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSET106
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSET107
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF100_S6
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF101_S6
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF102_S4
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF103_S6
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF104_S4
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF97_S4
*Elset, elset=ASSEMBLY__PICKEDSURF99_S4
*material, name=CONCRETE
*density
*elastic
*concretedamagedplasticity
*concretecompressionhardening
*concretetensionstiffening
*material, name=REBAR
*density
*elastic
*plastic
*material, name=STEEL
*density
*elastic
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_STIRRUP, material=REBAR
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_COMREBAR, material=REBAR
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_TENREBAR, material=REBAR
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEAM-1_BEAM, material=CONCRETE
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEARING-1_BEARING, material=STEEL
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEARING-2_BEARING, material=STEEL
*solidsection, elset=ASSEMBLY_LOAD-1_LOAD, material=STEEL
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_STIRRUP, material=REBAR
***WARNING: FOR TWO-DIMENSIONAL MODELS, IF A NON-UNITY THICKNESS IS
SPECIFIED
    FOR TWO-DIMENSIONAL SOLID ELEMENTS AND THESE ELEMENTS ARE
INVOLVED
    IN AN INTERACTION SUCH AS CONTACT, THE SAME THICKNESS SHOULD BE

```

SPECIFIED FOR THE OUT-OF-PLANE THICKNESS OF THE CORRESPONDING
SURFACE UNDER *SURFACE INTERACTION.

```
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_COMREBAR, material=REBAR
*solidsection, elset=ASSEMBLY_REINFORCEMENT-1_TENREBAR, material=REBAR
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEAM-1_BEAM, material=CONCRETE
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEARING-1_BEARING, material=STEEL
*solidsection, elset=ASSEMBLY_BEARING-2_BEARING, material=STEEL
*solidsection, elset=ASSEMBLY_LOAD-1_LOAD, material=STEEL
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF99
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF100
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF101
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF102
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF103
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF104
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF99
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF100
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF101
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF102
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF103
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF104
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF99
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF100
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF101
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF102
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF103
*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF104
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*coupling, constraintname=ASSEMBLY_CONSTRAINT-1,
refnode=ASSEMBLY__PICKEDSET98, surface=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES
*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES
*coupling, constraintname=ASSEMBLY_CONSTRAINT-1,
refnode=ASSEMBLY__PICKEDSET98, surface=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
*coupling, constraintname=ASSEMBLY_CONSTRAINT-1,
refnode=ASSEMBLY__PICKEDSET98, surface=ASSEMBLY__PICKEDSURF97
```

*kinematic

***WARNING: WHENEVER A TRANSLATION (ROTATION) DOF AT A NODE IS CONSTRAINED BY
 A KINEMATIC COUPLING DEFINITION THE TRANSLATION (ROTATION) DOFS
 FOR THAT NODE CANNOT BE INCLUDED IN ANY OTHER CONSTRAINT
 INCLUDING
 MPCs, RIGID BODIES, ETC.

*coupling, constraintname=ASSEMBLY_CONSTRAINT-1,
 refnode=ASSEMBLY__PICKEDSET98, surface=ASSEMBLY__PICKEDSURF97

*embeddedelement
 *embeddedelement
 *embeddedelement
 *embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST
 ELEMENT SET.
 SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS
 ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY
 CAUSE
 UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE
 VICINITY
 INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS
 WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST
 ELEMENT SET.
 SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS
 ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY
 CAUSE
 UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE
 VICINITY
 INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS
 WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST
 ELEMENT SET.
 SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS
 ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY
 CAUSE
 UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE
 VICINITY
 INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS
 WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST
 ELEMENT SET.
 SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS

ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddedelement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*boundary

*boundary

*boundary

*boundary

*boundary

*boundary

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES

***WARNING: FOR *TIE PAIR (ASSEMBLY__PICKEDSURF100-ASSEMBLY__PICKEDSURF99),

ADJUSTED NODES WITH VERY SMALL ADJUSTMENTS WERE NOT PRINTED.
SPECIFY *PREPRINT,MODEL=YES FOR COMPLETE PRINTOUT.

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES

***WARNING: FOR *TIE PAIR (ASSEMBLY__PICKEDSURF102-ASSEMBLY__PICKEDSURF101),

ADJUSTED NODES WITH VERY SMALL ADJUSTMENTS WERE NOT PRINTED.
SPECIFY *PREPRINT,MODEL=YES FOR COMPLETE PRINTOUT.

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES

***WARNING: FOR *TIE PAIR (ASSEMBLY__PICKEDSURF104-ASSEMBLY__PICKEDSURF103),

ADJUSTED NODES WITH VERY SMALL ADJUSTMENTS WERE NOT PRINTED.

SPECIFY *PREPRINT,MODEL=YES FOR COMPLETE PRINTOUT.

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES

*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF97

*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF99

*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF100

*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF101

*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF102

*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF103

*surface, type=ELEMENT, name=ASSEMBLY__PICKEDSURF104

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-5, adjust=YES

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-6, adjust=YES

*tie, name=ASSEMBLY_CONSTRAINT-7, adjust=YES

*embeddement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

*embeddement

***WARNING: EMBEDDED ELEMENTS HAVE BEEN DEFINED WITHOUT A HOST ELEMENT SET.

SPECIFYING A HOST ELSET IS RECOMMENDED PARTICULARLY IF THIS ANALYSIS IS TO BE FOLLOWED WITH AN IMPORT ANALYSIS. THIS MAY CAUSE

UNEXPECTED BEHAVIOR UPON IMPORT SINCE ALL ELEMENTS IN THE VICINITY

INCLUDING ANY NEWLY INTRODUCED ELEMENTS IN THE IMPORT ANALYSIS

WILL BE CONSIDERED FOR EMBEDDING THESE ELEMENTS.

- *output, field
- *output, field, variable=PRESELECT
- *output, history
- *output, field
- *elementoutput, directions=YES
- *elementoutput
- *elementoutput, directions=YES
- *output, field
- *output, field, variable=PRESELECT
- *output, history
- *output, field
- *elementoutput, directions=YES
- *elementoutput
- *elementoutput, directions=YES
- *output, field
- *output, field, variable=PRESELECT
- *output, history
- *output, field
- *elementoutput, directions=YES
- *elementoutput
- *elementoutput, directions=YES

***WARNING: MPCs (EXTERNAL or INTERNAL, including those generated from rigid body definitions), KINEMATIC COUPLINGS, AND/OR EQUATIONS WILL
ACTIVATE ADDITIONAL DEGREES OF FREEDOM

- *amplitude, name=AMP-1
- *Step, name=Step-1, nlgeom=NO, inc=1000
- *output, field
- *output, field, variable=PRESELECT
- *output, history
- *Step, name=Step-2, nlgeom=NO, perturbation
- *frequency, eigensolver=LANCZOS, normalization=DISPLACEMENT, sim=NO,
acousticcoupling=ON
- *output, field
- *Step, name=Step-1, nlgeom=NO, inc=1000
- *Step, name=Step-2, nlgeom=NO, perturbation
- *Step, name=Step-1, nlgeom=NO, inc=1000
- *static
- *boundary
- *boundary
- *boundary
- *output, field
- *nodeoutput
- *elementoutput, directions=YES
- *output, field, variable=PRESELECT
- *output, history
- *elementoutput

*energyoutput
 *endstep
 ***WARNING: OUTPUT REQUEST V IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS
 ***WARNING: OUTPUT REQUEST VT IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS
 ***WARNING: THE REQUEST FOR MISES OUTPUT WILL BE REPLACED BY A REQUEST FOR S
 OUTPUT
 ***WARNING: OUTPUT VARIABLE ALPHAN HAS NO COMPONENTS IN THIS ANALYSIS FOR
 ELEMENT TYPE C3D8R
 ***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST LE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS
 ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.
 ***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST NE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS
 ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.
 ***WARNING: OUTPUT REQUEST CS11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R
 ***WARNING: OUTPUT REQUEST CTSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R
 ***WARNING: OUTPUT REQUEST SEPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R
 ***WARNING: OUTPUT REQUEST SPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R
 ***WARNING: OUTPUT REQUEST TRIAX IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT
 TYPE C3D8R
 ***WARNING: OUTPUT REQUEST TSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R
 ***WARNING: OUTPUT REQUEST VE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT
 TYPE C3D8R
 ***WARNING: OUTPUT REQUEST VEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT
 TYPE C3D8R
 ***WARNING: OUTPUT REQUEST VS IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT
 TYPE C3D8R
 ***WARNING: OUTPUT VARIABLE ALPHAN HAS NO COMPONENTS IN THIS ANALYSIS FOR
 ELEMENT TYPE C3D8R
 ***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST LE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS
 ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST NE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: OUTPUT REQUEST CS11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST CTSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEMAG IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TRIAX IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VS IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT VARIABLE ALPHAN HAS NO COMPONENTS IN THIS ANALYSIS FOR

ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST LE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST NE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: OUTPUT REQUEST CS11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST CTSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEMAG IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TRIAX IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VS IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT VARIABLE ALPHAN HAS NO COMPONENTS IN THIS ANALYSIS FOR

ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST LE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST NE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: OUTPUT REQUEST CS11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST CTSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST PEMAG IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TRIAX IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST TSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST VS IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT VARIABLE ALPHAN HAS NO COMPONENTS IN THIS ANALYSIS FOR

ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST LE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: STRAIN OUTPUT REQUEST NE IS NOT VALID FOR SOME ELEMENTS IN THIS

ANALYSIS. THIS REQUEST IS SWITCHED TO THE STRAIN MEASURE, E.

***WARNING: OUTPUT REQUEST CS11 IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST CTSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SPE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST TRIAX IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST TSHR IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST VE IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST VEEQ IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST VS IS NOT AVAILABLE FOR THE MATERIAL FOR ELEMENT

TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SALPHA IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEP IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SSAVG IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SALPHA IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEP IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SSAVG IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SALPHA IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEP IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SSAVG IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SALPHA IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEP IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SSAVG IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE C3D8R

***WARNING: OUTPUT REQUEST SALPHA IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEE IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SEP IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST SSAVG IS NOT AVAILABLE FOR ELEMENT TYPE T3D2

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRA1 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRA2 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRA3 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRAR1 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRAR2 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRAR3 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRF1 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: OUTPUT REQUEST IRF2 IS NOT AVAILABLE FOR THIS TYPE OF ANALYSIS

***WARNING: MAXIMUM NUMBER OF OUTPUT RELATED WARNINGS HAS BEEN ISSUED.

SUBSEQUENT WARNINGS WILL BE SUPPRESSED. SET ABA_OUTPUT_DIAGNOSTICS TO unlimited TO OVERRIDE.

*Step, name=Step-2, nlgeom=NO, perturbation

*frequency, eigensolver=LANCZOS, normalization=DISPLACEMENT, sim=NO, acousticcoupling=ON

*frequency, eigensolver=LANCZOS, normalization=DISPLACEMENT, sim=NO, acousticcoupling=ON

*output, field

*nodeoutput

*elementoutput, directions=YES

*endstep

*Step, name=Step-1, nlgeom=NO, inc=1000

*static

*boundary

*boundary

*boundary

*endstep

*Step, name=Step-2, nlgeom=NO, perturbation

*frequency, eigensolver=LANCZOS, normalization=DISPLACEMENT, sim=NO, acousticcoupling=ON

*frequency, eigensolver=LANCZOS, normalization=DISPLACEMENT, sim=NO, acousticcoupling=ON

*endstep

PROBLEM SIZE

NUMBER OF ELEMENTS IS 4493

NUMBER OF NODES IS 5705

NUMBER OF NODES DEFINED BY THE USER 5705

TOTAL NUMBER OF VARIABLES IN THE MODEL 17190

(DEGREES OF FREEDOM PLUS MAX NO.OF ANY LAGRANGE MULTIPLIER
VARIABLES. INCLUDE *PRINT,SOLVE=YES TO GET THE ACTUAL NUMBER.)

END OF USER INPUT PROCESSING

JOB TIME SUMMARY

USER TIME (SEC) = 1.0000
SYSTEM TIME (SEC) = 0.60000
TOTAL CPU TIME (SEC) = 1.6000
WALLCLOCK TIME (SEC) = 11

1

Abaqus 3DEXPERIENCE R2017x

Date 10-juin-2025 Time 22:53:53

For use by Supplied by Team-SolidSQUAD under license from DassaultSystemes or its subsidiary.

STEP 1 INCREMENT 1
TIME COMPLETED IN THIS STEP 0.00

STEP 1 STATIC ANALYSIS

AUTOMATIC TIME CONTROL WITH -

A SUGGESTED INITIAL TIME INCREMENT OF 0.200
AND A TOTAL TIME PERIOD OF 500.
THE MINIMUM TIME INCREMENT ALLOWED IS 5.000E-03
THE MAXIMUM TIME INCREMENT ALLOWED IS 500.
LINEAR EQUATION SOLVER TYPE DIRECT SPARSE

UNSYMMETRIC MATRIX STORAGE AND SOLUTION WILL BE USED

TOTAL MASS OF MODEL

563.7149

LOCATION OF THE CENTER OF MASS OF THE MODEL

-1.650000 0.1337522 1.5611876E-09

MOMENTS OF INERTIA ABOUT THE ORIGIN

I(XX)	I(YY)	I(ZZ)
18.16213	2114.876	2128.945

PRODUCTS OF INERTIA ABOUT THE ORIGIN

I(XY)	I(XZ)	I(YZ)
124.4069	1.4521069E-06	-1.1716831E-07

MOMENTS OF INERTIA ABOUT THE CENTER OF MASS

I(XX)	I(YY)	I(ZZ)
8.077469	580.1619	584.1461

PRODUCTS OF INERTIA ABOUT THE CENTER OF MASS

I(XY)	I(XZ)	I(YZ)
-8.9965013E-08	1.0815925E-14	5.4227487E-10

MEMORY ESTIMATE

PROCESS	FLOATING PT OPERATIONS PER ITERATION	MINIMUM MEMORY REQUIRED (MB)	MEMORY TO MINIMIZE I/O (MB)
1	1.60E+009	25	161

NOTE:

(1) SINCE ABAQUS DOES NOT PRE-ALLOCATE MEMORY AND ONLY ALLOCATES
MEMORY AS NEEDED DURING THE ANALYSIS,

THE MEMORY REQUIREMENT PRINTED HERE CAN ONLY BE VIEWED AS A GENERAL GUIDELINE BASED ON THE BEST

KNOWLEDGE AVAILABLE AT THE BEGINNING OF A STEP BEFORE THE SOLUTION PROCESS HAS BEGUN.

(2) THE ESTIMATE IS NORMALLY UPDATED AT THE BEGINNING OF EVERY STEP. IT IS THE MAXIMUM VALUE OF THE

ESTIMATE FROM THE CURRENT STEP TO THE LAST STEP OF THE ANALYSIS, WITH UNSYMMETRIC SOLUTION TAKEN INTO ACCOUNT IF APPLICABLE.

(3) SINCE THE ESTIMATE IS BASED ON THE ACTIVE DEGREES OF FREEDOM IN THE FIRST ITERATION OF THE

CURRENT STEP, THE MEMORY ESTIMATE MIGHT BE SIGNIFICANTLY DIFFERENT THAN ACTUAL USAGE FOR

PROBLEMS WITH SUBSTANTIAL CHANGES IN ACTIVE DEGREES OF FREEDOM BETWEEN STEPS (OR EVEN WITHIN THE SAME STEP). EXAMPLES ARE: PROBLEMS WITH SIGNIFICANT CONTACT CHANGES, PROBLEMS WITH MODEL

CHANGE, PROBLEMS WITH BOTH STATIC STEP AND STEADY STATE DYNAMIC PROCEDURES WHERE ACOUSTIC

ELEMENTS WILL ONLY BE ACTIVATED IN THE STEADY STATE DYNAMIC STEPS.

(4) FOR MULTI-PROCESS EXECUTION, THE ESTIMATED VALUE OF FLOATING POINT OPERATIONS FOR EACH PROCESS

IS BASED ON AN INITIAL SCHEDULING OF OPERATIONS AND MIGHT NOT REFLECT THE ACTUAL FLOATING

POINT OPERATIONS COMPLETED ON EACH PROCESS. OPERATIONS ARE DYNAMICALLY BALANCED DURING EXECUTION,

SO THE ACTUAL BALANCE OF OPERATIONS BETWEEN PROCESSES IS EXPECTED TO BE BETTER THAN THE ESTIMATE PRINTED HERE.

(5) THE UPPER LIMIT OF MEMORY THAT CAN BE ALLOCATED BY ABAQUS WILL IN GENERAL DEPEND ON THE VALUE OF

THE "MEMORY" PARAMETER AND THE AMOUNT OF PHYSICAL MEMORY AVAILABLE ON THE MACHINE. PLEASE SEE

THE "ABAQUS ANALYSIS USER'S MANUAL" FOR MORE DETAILS. THE ACTUAL USAGE OF MEMORY AND OF DISK

SPACE FOR SCRATCH DATA WILL DEPEND ON THIS UPPER LIMIT AS WELL AS THE MEMORY REQUIRED TO MINIMIZE

I/O. IF THE MEMORY UPPER LIMIT IS GREATER THAN THE MEMORY REQUIRED TO MINIMIZE I/O, THEN THE ACTUAL

MEMORY USAGE WILL BE CLOSE TO THE ESTIMATED "MEMORY TO MINIMIZE I/O" VALUE, AND THE SCRATCH DISK

USAGE WILL BE CLOSE-TO-ZERO; OTHERWISE, THE ACTUAL MEMORY USED WILL BE CLOSE TO THE PREVIOUSLY

MENTIONED MEMORY LIMIT, AND THE SCRATCH DISK USAGE WILL BE ROUGHLY PROPORTIONAL TO THE DIFFERENCE

BETWEEN THE ESTIMATED "MEMORY TO MINIMIZE I/O" AND THE MEMORY UPPER LIMIT. HOWEVER ACCURATE

ESTIMATE OF THE SCRATCH DISK SPACE IS NOT POSSIBLE.

(6) USING "**RESTART, WRITE" CAN GENERATE A LARGE AMOUNT OF DATA WRITTEN IN THE WORK DIRECTORY.

1

Abaqus 3DEXPERIENCE R2017x

Date 10-juin-2025 Time 22:54:27

For use by Supplied by Team-SolidSQUAD under license from DassaultSystemes or its subsidiary.

STEP 2 INCREMENT 1

TIME COMPLETED IN THIS STEP 0.00

STEP 2 CALCULATION OF EIGENVALUES
FOR NATURAL FREQUENCIES

THE LANCZOS EIGENSOLVER IS USED FOR THIS ANALYSIS

Abaqus WILL COMPUTE UNCOUPLED

STRUCTURAL AND ACOUSTIC MODES

NUMBER OF EIGENVALUES 10

HIGHEST FREQUENCY OF INTEREST 1.00000E+18

MAXIMUM NUMBER OF STEPS WITHIN RUN 35

BLOCK SIZE FOR LANCZOS PROCEDURE 7

THE EIGENVECTORS ARE SCALED SO THAT

THE LARGEST DISPLACEMENT ENTRY IN EACH VECTOR
IS UNITY

THIS IS A LINEAR PERTURBATION STEP.

ALL LOADS ARE DEFINED AS CHANGE IN LOAD TO THE REFERENCE STATE

MEMORY ESTIMATE

PROCESS	FLOATING PT OPERATIONS PER ITERATION	MINIMUM MEMORY REQUIRED (MB)	MEMORY TO MINIMIZE I/O (MB)
1	1.60E+009	22	159

NOTE:

(1) SINCE ABAQUS DOES NOT PRE-ALLOCATE MEMORY AND ONLY ALLOCATES MEMORY AS NEEDED DURING THE ANALYSIS,

THE MEMORY REQUIREMENT PRINTED HERE CAN ONLY BE VIEWED AS A GENERAL GUIDELINE BASED ON THE BEST

KNOWLEDGE AVAILABLE AT THE BEGINNING OF A STEP BEFORE THE SOLUTION PROCESS HAS BEGUN.

(2) THE ESTIMATE IS NORMALLY UPDATED AT THE BEGINNING OF EVERY STEP. IT IS THE MAXIMUM VALUE OF THE

ESTIMATE FROM THE CURRENT STEP TO THE LAST STEP OF THE ANALYSIS, WITH UNSYMMETRIC SOLUTION TAKEN INTO ACCOUNT IF APPLICABLE.

(3) SINCE THE ESTIMATE IS BASED ON THE ACTIVE DEGREES OF FREEDOM IN THE FIRST ITERATION OF THE

CURRENT STEP, THE MEMORY ESTIMATE MIGHT BE SIGNIFICANTLY DIFFERENT THAN ACTUAL USAGE FOR

PROBLEMS WITH SUBSTANTIAL CHANGES IN ACTIVE DEGREES OF FREEDOM BETWEEN STEPS (OR EVEN WITHIN THE SAME STEP). EXAMPLES ARE: PROBLEMS WITH SIGNIFICANT CONTACT CHANGES, PROBLEMS WITH MODEL

CHANGE, PROBLEMS WITH BOTH STATIC STEP AND STEADY STATE DYNAMIC PROCEDURES WHERE ACOUSTIC

ELEMENTS WILL ONLY BE ACTIVATED IN THE STEADY STATE DYNAMIC STEPS.

(4) FOR MULTI-PROCESS EXECUTION, THE ESTIMATED VALUE OF FLOATING POINT OPERATIONS FOR EACH PROCESS

IS BASED ON AN INITIAL SCHEDULING OF OPERATIONS AND MIGHT NOT REFLECT THE ACTUAL FLOATING

POINT OPERATIONS COMPLETED ON EACH PROCESS. OPERATIONS ARE DYNAMICALLY BALANCED DURING EXECUTION,

SO THE ACTUAL BALANCE OF OPERATIONS BETWEEN PROCESSES IS EXPECTED TO BE BETTER THAN THE ESTIMATE PRINTED HERE.

(5) THE UPPER LIMIT OF MEMORY THAT CAN BE ALLOCATED BY ABAQUS WILL IN GENERAL DEPEND ON THE VALUE OF

THE "MEMORY" PARAMETER AND THE AMOUNT OF PHYSICAL MEMORY AVAILABLE ON THE MACHINE. PLEASE SEE

THE "ABAQUS ANALYSIS USER'S MANUAL" FOR MORE DETAILS. THE ACTUAL USAGE OF MEMORY AND OF DISK

SPACE FOR SCRATCH DATA WILL DEPEND ON THIS UPPER LIMIT AS WELL AS THE MEMORY REQUIRED TO MINIMIZE

I/O. IF THE MEMORY UPPER LIMIT IS GREATER THAN THE MEMORY REQUIRED TO MINIMIZE I/O, THEN THE ACTUAL

MEMORY USAGE WILL BE CLOSE TO THE ESTIMATED "MEMORY TO MINIMIZE I/O" VALUE, AND THE SCRATCH DISK

USAGE WILL BE CLOSE-TO-ZERO; OTHERWISE, THE ACTUAL MEMORY USED WILL BE CLOSE TO THE PREVIOUSLY

MENTIONED MEMORY LIMIT, AND THE SCRATCH DISK USAGE WILL BE ROUGHLY PROPORTIONAL TO THE DIFFERENCE

BETWEEN THE ESTIMATED "MEMORY TO MINIMIZE I/O" AND THE MEMORY UPPER LIMIT. HOWEVER ACCURATE

ESTIMATE OF THE SCRATCH DISK SPACE IS NOT POSSIBLE.

(6) USING "*RESTART, WRITE" CAN GENERATE A LARGE AMOUNT OF DATA WRITTEN IN THE WORK DIRECTORY.

E I G E N V A L U E O U T P U T

MODE NO EIGENVALUE FREQUENCY GENERALIZED MASS

COMPOSITE MODAL DAMPING

(RAD/TIME) (CYCLES/TIME)

1	21011.	144.95	23.070	224.49	0.0000	
2	5.86278E+05	765.69	121.86	191.38	0.0000	
3	3.02837E+06	1740.2	276.96	55.573	0.0000	
4	3.36004E+06	1833.0	291.74	174.50	0.0000	
5	5.22551E+06	2285.9	363.82	229.67	0.0000	

6	8.88782E+06	2981.2	474.48	209.73	0.0000
7	9.68359E+06	3111.8	495.27	132.65	0.0000
8	1.33158E+07	3649.1	580.77	92.882	0.0000
9	1.65071E+07	4062.9	646.63	155.68	0.0000
10	2.28335E+07	4778.4	760.51	108.20	0.0000

PARTICIPATION FACTORS

MODE NO	X-COMPONENT	Y-COMPONENT	Z-COMPONENT	X-ROTATION	Y-ROTATION	Z-ROTATION
1	5.36843E-10	-2.66154E-11	1.2814	0.17264	1.1776	-1.09688E-11
2	-4.86394E-10	-1.09150E-09	0.58117	0.12290	1.8036	1.73461E-09
3	-6.87295E-11	-4.09477E-08	9.34156E-02	0.29665	0.25063	6.70866E-08
4	5.68657E-10	-3.98504E-09	-0.39803	-2.24042E-02	-1.0024	1.03243E-08
5	0.36671	1.14871E-04	1.43559E-09	1.46907E-10	4.53419E-09	0.75392
6	-7.99020E-05	1.2551	1.07359E-08	2.43006E-09	3.43439E-08	-2.0710
7	-2.45840E-09	-5.79753E-08	0.35336	6.99841E-02	1.1240	9.52885E-08
8	1.71940E-08	-2.07251E-09	-8.85998E-02	-1.46020E-03	-0.28015	3.74350E-09
9	1.6021	1.95493E-05	6.76263E-10	6.08326E-11	6.03676E-09	-0.37454
10	3.47615E-09	-3.23637E-10	-0.35030	-6.37865E-02	-1.0101	5.98639E-10

EFFECTIVE MASS

MODE NO	X-COMPONENT	Y-COMPONENT	Z-COMPONENT	X-ROTATION	Y-ROTATION	Z-ROTATION
1	6.46982E-17	1.59025E-19	368.61	6.6910	311.29	2.70096E-20
2	4.52763E-17	2.28002E-16	64.639	2.8906	622.54	5.75833E-16
3	2.62513E-19	9.31801E-14	0.48496	4.8905	3.4910	2.50113E-13
4	5.64278E-17	2.77113E-15	27.646	8.75896E-02	175.32	1.86001E-14
5	30.886	3.03064E-06	4.73339E-16	4.95672E-18	4.72183E-15	130.55
6	1.33896E-06	330.40	2.41728E-14	1.23847E-15	2.47372E-13	899.54
7	8.01721E-16	4.45865E-13	16.564	0.64970	167.59	1.20448E-12
8	2.74592E-14	3.98956E-16	0.72912	1.98041E-04	7.2899	1.30164E-15
9	399.60	5.94957E-08	7.11960E-17	5.76100E-19	5.67326E-15	21.839
10	1.30745E-15	1.13330E-17	13.277	0.44024	110.40	3.87755E-17

TOTAL 430.49 330.40 491.95 15.650 1397.9 1051.9

THE ANALYSIS HAS BEEN COMPLETED

ANALYSIS COMPLETE

WITH 121 WARNING MESSAGES ON THE DAT FILE

JOB TIME SUMMARY

USER TIME (SEC) = 25.800

SYSTEM TIME (SEC) = 2.1000

TOTAL CPU TIME (SEC) = 27.900

WALLCLOCK TIME (SEC) = 38