REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie mécanique

Spécialité : construction mécanique

Thème

Conception d'actionneurs à base de materiaux piézoéléctriques

---

Présenté par
Aid Mohamed

Proposé et Dirigé par
Dr: adel zemirline

Promotion septembre 2020

Remerciement

Ce travail n'aurait pu être effectué sans l'accord, le soutien et l'aide de plusieurs personnes d'autant sur le plan professionnel que sur le plan personnel.

J'ai passé cinq années de ma vie à médéa marquées par des hauts et des bas, des moments de doute et de quiétude ….
Je tiens à remercier, le dr ***adel zemirline***, mon directeur de thèse, qui m'a guidé tout au long de cette thèse, appris à ne pas baisser les bras et à persévérer.

Je suis très reconnaissant à mes parents(**Aid djillali**,**Belabdeli naima**),mes frères(**walid**, **ikram**,**hichem**), et ma fiancée de m'avoir encouragé, aidé et soutenu dans les moments difficiles et à qui je dois tout.

Je souhaite remercier aussi, tous les administrateurs de faculté des Sciences et de la technologie université de médéa.



Je dédie ce modeste travail:

A ceux qui m'ont encouragé le long de mes études : Mes très chers parents

Belabdeli naima et djllali

A monsieur adel zemirline ;

A tous mes professeurs du niveau primaire

Au niveau universitaire ;

A tous mes amis,
A tous mes collègues du groupe

A mes amis de ma vie

A tous les personnes qui m'ont aidé de proche

Ou de loin pour réaliser ce travail

AID MOHAMED

Sommaires :

List des tableau ……..6

List des fegures …….6

تلخيص …….8

Résumé ……...……9

Abstract ……..……..……10

Introduction générale …….…….. 11

Chapitre 01

1.1 Introduction ……..……13

1.2 La théorie de la piézoélectricité ……..……..……13

a- L'effet direct ……..……..… 13

b- L'effet inverse ……..……..……. 14

les ceramiques……**……..15**

1.3 PIEZOELECTRIQUE ……..…… 16

1.4 Equations constituves de la piezoelectricité lineaire ……..……. 17

1.4.1 Piézoélectricité linéaire ……17

1.5 Actionneurs piézoélectriques ……..……. 21

1.6 moteurs piézoélectriques ……..……..…….. 22

1.7 MODELISATION DES LAMINES PIEZOELECTRIQUES ……. 23

Chapitre 02

2.1 introduction sur chapitre 02 ……..…….……. 26

2.2 La théorie de Timoshenko ……..…… 26

2.2.1 Hypothèses relatives aux poutres ……..28

2.2.2 La piézoélectricité appliquée aux poutres ……..29

2.3 : Théorie d'Euler Bernoulli ……..……..…… 31

2.4 Discrétisation par élément fnis ……..…….…….. 33

2.4.1 Définition générale avec méthode de élément finis ….……..….. 33

2.4.2 Discrétisation par élément finis ……..….……..... 35

2.4.3 les matrices élémentaires des élément finis …….……..…….. 37

a- Matrice de rigidité élémentaire …….……..……..…….. 37

b- Matrice de masse élémentaire ……..…….. 37

Chapitre 03

3.1 inroduction …..……..……..…….. 39

3.2 paramétres ……..……..…… 41
3.3 poutre 01 ……..……..……... 43
1+ En statique1 ……..…….……44
2+ Les modes propres1 ……..…….……...45
3+ Analyse harmonique1 ……..…….…….48
3.4 Poutre02 ……..……. 49
1+ En statique2 ……..…….……51
2+ Les modes propres2 ……..…….……52
3+ Analyse harmonique2 ……..…….…….55
résultant ……..……..……..….. 57
Conclusion ……57
Les références …… 58
Liens internet …….59

List des tableaux :

TABLE 1.1 : CORRESPONDANCE ENTRE LES NOTATIONS TENSORIELLE ET MATRICIELLE …….. 18
TABLE 1.2 : UNITES CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX PIEZOELECTRIQUES. ……..20
Tableau 3.1 : les dimensions de poutre 01 ……...…… 43
Tableau 3.2 : les fréquences des déplacements de poutre 01 …….…… 45
Tableau 3.3 : les valeurs maximales des déplacements de poutre 01 ……46
Tableau 3.4 : les dimensions de poutre 02 …… 49
Tableau 3.5 : les fréquences des déplacements de poutre02 …….……..52
Tableau 3.6 : les valeur maximales des déplacement de poutre 02 ……53

List des figures :

Figure 1.1 : Structure de la matrice élasto-piézo-diélectrique[1] ……14
Figure 1.2 : Illustration des effets Piézoélectriques d'un matériau en céramique: a) Effet direct b) effet inverse.[1] ……..…… 15
Figure 1.3 : Modèle simplifié d'une structure cristalline unidimensionnelle.[2] ….. 17
Figure 1.4 : Structure de la matrice élasto-piézo-diélectrique.[2] …….. 21
Figure 1.5 : Mode opérationnel d'un laminé piézoélectrique1 [l1] …… 24
Figure 1.6 : Mode opérationnel d'un laminé piézoélectrique2[2] ……..…… 24
Figure 2.1 Déplacement d'un point de la poutre[9] ……...…… 27
Fegure2.2 : Déplacements d'une poutre plane[10] …… 27
Figure 2.3 Polarisation parallèle.[9] ……. 30
Figure 2.4 Polarisation antiparallèle[9] ……. 30
Figure 2.5 Montage en parallèle[9] …… 30
Figure 2.6 Montage en série.[9] ……. 31
Fegure2.7 : La déformation d'une poutre de type Bernoulli.[10] ……. 33
Figure 2.8 Degrés de liberté d'un élément de la poutre.[8] …….. 35
Fegure3.1 : opération de travail …… 41
Fegure3.2 : table de ligne de propriétes ……42
Fegure3.3 : fixation1 ……. 43
Fegure3.4 : voltage1.1 …….. 43

Fegure3.5 : voltage2.1 …… 43
Fegure3.6 : maillage1 …… 44
Fegure3.7 : statique1 …….. 44
Fegure3.8 : la déformation totale de poutre01 ……...…… 45
Fegure3.9 : modale1 ……...…… 45
Fegure3.10 : mode1 modale1 …… 46
Fegure3.11 : mode2 modale1 …… 46
Fegure3.12 : mode3 modale1…… 47
Fegure3.13 : mode4 modale1…… 47
Fegure3.14 : mode5 modale1…… 47
Fegure3.15 : mode6 modale1…… 48
Fegure3.16 : analyse harmonique1…… 48
Fegure3.17 : surface pour etudier l'harmonique1……..…… 48
Fegure3.18 : la courbe d'analyse harmonique1 ……..……49
Fegure3.19 : fixation2 ……50
Fegure3.20 : voltage1 …… 50
Fegure3.21 : voltage2.2 …….. 50
Fegure3.22 : maillage2.2 …… 51
Fegure3.23 : statique2 …… 51
Fegure3.24 : la déformation totale de poutre02 …… 52
Fegure3.25 : modale2 …… 52
Fegure3.26 : mode1 modale2 …… 53
Fegure3.27 : mode2 modale2 ……..…53
Fegure3.28 : mode3 modale2 …… 54
Fegure3.29 : mode4 modale2 …… 54
Fegure3.30 : mode5 modale2 …… 54
Fegure3.31 : mode6 modale2 …… 55
Fegure3.32 : analyse harmonique2 …… 55
Fegure3.33 : surface pour etudier l'harmonique2 …… 55
Fegure3.34 : la courbe d'analyse harmonique2 …… 56

تلخيص

قسمنا الرسالة إلى ثلاثة أجزاء رئيسية:

1- تناول الجزء الأول تعريف الكهرباء الانضغاطية ، حيث تناولنا التأثير المباشر والتأثير العكسي ، وقمنا بتعريف السيراميك بإيجاز وأخذنا بعض المعادلات في المجال الكهروإجهادي بشكل مختصر ومفاهيمي ، وفي الأخير. لقد ذكرنا المحركات الكهربائية الانضغاطية والمشغلات الكهرضغطية.

2- الجزء الثاني: تعرفنا على نظريتين مهمتين وهما نظرية تيموشينكو ، فذكرنا معادلاتهما وبعض تفسيراتهما ، ثم انتقلنا إلى نظرية برنولي وقلناها باختصار ، يقتصر الأمر على عرض تمهيدي بسيط. في النهاية ، ذهبنا بإيجاز إلى طريقة العناصر المحدودة بسبب علاقتها ببحثنا وأهميتها ، لذلك أخذنا ما هو مهم فقط .

3- في الجزء الأخير قمنا بمحاكاة مجموعة من اعمدة PZT5 وتطبيق الشحنات الكهرضغطية (الفولتية) بإعدادات خاصة ، وفي النهاية وجدنا قيم الانحناء الناتجة وقمنا بمحاكاة ذلك ببساطة.

Résumé :

Nous avons divisé la thése en trois parties principales :

1- La première partie traitait de la définition de la piézoélectricité, dans laquelle nous avons traité la effet directe et l'effet inverse , et nous avons brièvement défini la céramique et pris quelques équations dans le champ piézoélectrique brièvement et conceptuellement, et dans la dernière nous avons mentionné les moteurs piézoélectriques et les actionneurs piezoelectriques .

2- La deuxième partie, nous sommes familiarisés avec deux théories importantes ,qui sont la théorie de Timochenko, nous avons donc mentionné leurs équations et certaines de leurs explications, puis nous sommes passés à la théorie de Bernoulli et l'avons brièvement mentionnée, nous l'avons limitée à une simple vue introductive. Au final, nous sommes allés brièvement à la méthode des éléments finis en raison de sa relation à notre recherche et son importance, nous n'avons donc pris que ce qui est important .

3- Dans la dernière partie, nous avons effectué des simulations d'un groupe de poudres PZT5 et appliqué des charges piézoélectriques (tensions) avec des réglages spéciaux, et à la fin nous avons trouvé les valeurs de courbures résultantes et simulé cela simplement .

Abstract :

We have divided the thesis into three main parts:

1-The first part dealt with the definition of piezoelectricity, in which we dealt with the direct effect and the reverse effect, and we briefly defined ceramics and took some equations in the piezoelectric field briefly and conceptually, and in the last we have mentioned piezoelectric motors and piezoelectric actuators.

2- The second part, we are familiar with two important theories, which is Tymoshenko's theory, so we mentioned their equations and some of their explanations, then we moved on to Bernoulli's theory and briefly mentioned it, we limited it to a simple introductory view. In the end, we went briefly to the finite element method because of its relation to our research and its importance, so we only took what is important.

In the last part we performed simulations of a poutres of PZT5 powders and applied -3 piezoelectric charges (voltages) with special settings, and in the end we found the resulting curvature values and simulated this simply.

Introduction générale :

L'effet piézoélectrique à été découvert par Pierre et Jacques Curie en 1880 , les matériaux piézoélectriques ont très largement utilisés dans les actionneurs ou les capteurs à cause de leur aptitude à convertir l'énergie électrique en énergie mécanique et vice versa. Ces matériaux dits intelligents peuvent être utilisés dans différentes applications comme les mécanismes d'injection, les moteurs piézoélectriques, les sonars. L'activité de ces matériaux est liée au fait qu'ils présentent une polarisation macroscopique due à l'existence d'un moment dipolaire résultant de l'absence de Centro symétrie**.**

Parmi les matériaux piézoélectriques les plus utilisés il existe une famille particulière pour laquelle la polarisation macroscopique peut être modifiée par l'application d'un champ électrique ces matériaux dits ferroélectriques, parmi les matériaux les plus utilisés en s'intéressent d'étudié le PZT.

Le PZT possède de bonnes caractéristiques piézoélectriques et un excellent coefficient de couplage électromécanique, ce qui explique leur rôle important dans le domaine de matériaux adaptatifs.

La piézoélectricité caractérise l'aptitude de certains matériaux cristallins de convertir une contrainte mécanique en une énergie électrique et réciproquement.

Il s'agit d'une polarisation électrique induite par une déformation mécanique dans des cristaux appartenant à certaines classes cristallines. Cette polarisation est proportionnelle à la déformation et charge de signe avec elle .Cet effet appelé «effet piézoélectrique direct», est réversible : l'application d'un champ électrique externe induit une déformation mécanique c'est l'effet piézoélectrique inverse .

Chapitre 01

Etude théorique

1.1 Introduction :

Dans ce chapire on va definer la theorie d la piezoélectrique avec ne bref historique et quelques l'utilisation de l'effet piezoelectrique pour l'effet direct et l'effet inverse et definer la ceramiques , et bref sur les actionneurs et les moteurs piezoelectriques .

1.2 La théorie de la piézoélectricité

La piézoélectricité, qui littéralement veut dire pression (piézo signifie pression en Grec) et électricité a été expliquée par Pierre et Jacques Curie en 1880. Cady a défini la piézoélectricité de la façon suivante: «polarisation électrique produite par des contraintes mécaniques dans les cristaux se rapportant à certaines classes, la polarisation étant proportionnelle à la contrainte et changeant». Deux effets existent: l'effet piézoélectrique direct défini comme étant l'apparition de charges électriques par l'application d'une pression et l'effet piézoélectrique inverse caractérisé par l'apparition d'une déformation à l'application d'un champ électrique, dont la nature (expansion ou contraction) dépendant de la polarité. L'effet direct peut être utilisé dans les capteurs, tandis que l'effet indirect est à la base des actionneurs. [1]

La piézoélectricité peut se définir comme un phénomène de couplage entre énergie élastique et énergie électrique (relation entre deux variable : électrique et mécanique et vice-versa). Ces effets piézoélectriques ne peuvent être observés que sur des isolants.

Il ya deux effet pour piézoéléctique comme ci-dessus a et b :

a- L'effet direct

• Accéléromètres : Un cylindre avec une bille et un capteur piézoélectrique sur chaque base permet de détecter le mouvement et la vitesse sur un axe. Plusieurs accéléromètres sont placés dans les systèmes pour pouvoir capter le mouvement sur tous les axes comme dans la manette de la console de jeux vidéo Wii ou dans quelques systèmes de sécurité routière.

• Le briquet piézoélectrique : le briquet piézoélectrique est un exemple de création d'un arc. En appuyant sur le bouton, l'élément piézoélectrique reçoit une pression. L'élément piézoélectrique transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

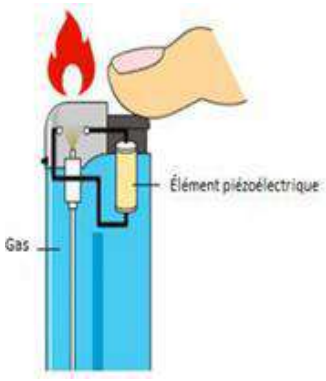


Figure 1.1 : Structure de la matrice élasto-piézo-diélectrique.[1]

b- L'effet inverse

• Horloges : Dans les montres, les chronomètres, un cristal de quartz vibre toujours à la même fréquence et cette vibration est mesurée et permet d'indiquer le temps écoulé.

• Générateurs de son audible : Des transducteurs piézoélectriques sont utilisées aussi pour produire du son, ils sont utilises dans des écouteurs normaux ou flexibles, des buzzers, même dans des systèmes qui ne peuvent être écoutés que quand on les mord.[1]

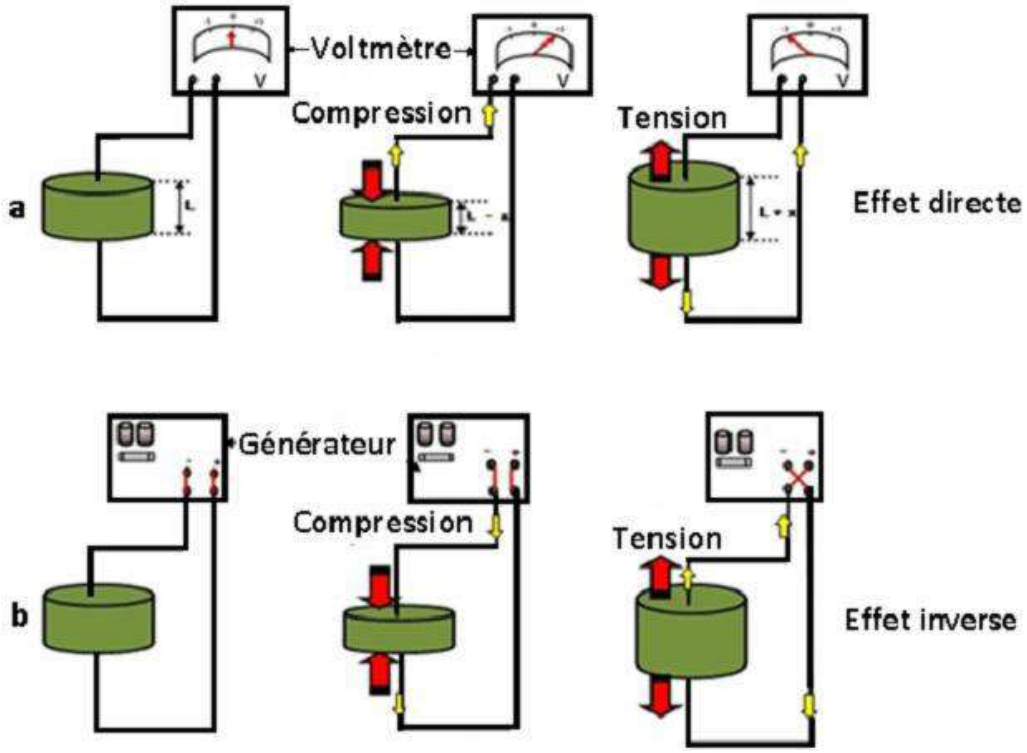


Figure 1.2 : Illustration des effets Piézoélectriques d'un matériau en céramique: a) Effet direct b) effet inverse.[1]

Les céramiques

Le terme céramique échelonne souvent des objets rustiques comme les argiles, les briques et les tuiles mais il signifie plus généralement un solide qui n'est ni un métal ni un polymère.

Une céramique est un matériau solide de synthèse qui nécessite souvent des traitements thermiques pour son élaboration. La plupart des céramiques modernes sont préparées à partir de poudres consolidées (mises en forme) et densifiées par un traitement thermique (le frittage). La plupart des céramiques sont des matériaux polycristallins, c'est à-dire comportant un grand nombre de microcristaux bien ordonnés (grains) reliés entre eux par des joints de grains.[3]

L'épaisseur de la céramique augmente si le champ électrique appliqué est dans le même sens que le champ électrique de polarisation (P). Si l'on inverse le sens du champ électrique, l'allongement change de signe, c'est-à-dire que l'on passe d'une dilatation à une compression.

1.3 PIEZOELECTRIQUE

Le $Pb(Zr,Ti)O_3$ (**PZT**) est l'un des matériaux piézoélectriques les plus répandus dans l'industrie, mais on peut aussi citer le $PbTiO_3$ (**PT**), le $(Pb,La)(Zr,Ti)O_3$ (**PLZT**), … Ces matériaux se présentent généralement sous forme de céramiques fabriquées à partir de particules obtenues par calcination et broyage des différents oxydes et par une mise à forme de cette poussière. L'étape de polarisation s'effectue dans un bain d'huile silicone porté à 150 °C, un champ électrique externe alors appliqué pendant une minute.[2]

L'origine microscopique de la piézoélectricité est illustrée aux figure 1.2 (a) et (b) sur un modèle ionique du réseau cristallin supposé, pour la simplicité de l'exposé, unidimensionnel. Sur ces figures les liaisons inter-ioniques représentent la résultante des forces électrostatiques de Coulomb et des forces de répulsions quantiques. On remarquera que la structure cristalline

(a) présente des liaisons qui sont fonctions de la distance inter-ionique.

Si l'on applique un champ électrique *E* au cas (a), les cations se dirigeront dans la direction du champ électrique et les anions dans la direction opposée. Vu la différence de raideur des liaisons inter-ioniques, les liaisons souples se contracteront (ou se dilateront) plus vite que les liaisons dures, causant ainsi une déformation proportionnelle au champ électrique. Ce phénomène est appelé l'effet piézoélectrique inverse et est exprimé par :

$$\varepsilon = d.E \quad (1.1)$$

où *d* est appelé la constante piézoélectrique.

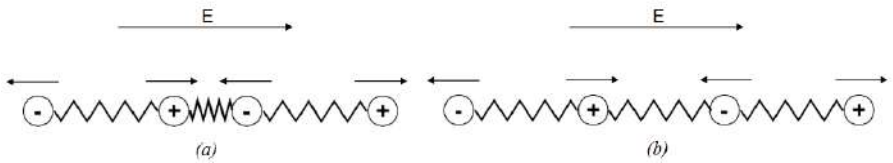


Figure 1.3 : *Modèle simplifié d'une structure cristalline unidimensionnelle[2].*

Dans le cas (a) présente des liaisons qui sont fonctions de la distance inter-ionique.

Dans le cas (b), les taux d'extension et de contraction étant identiques, la distance entre les deux cations demeure stable, sans aucune déformation globale.[2]

1.4 Equations constituves de la piézoéléctricité linéaire

La piézoélectricité se manifeste par la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique et inversement. Les équations décrivant les effets piézoélectriques direct et indirect relient une variable mécanique et une variable électrique (déplacement électrique D ou champ électrique E).

1.4.1 Piézoélectricité linéaire

Dans la théorie de la piézoélectricité linéaire, les équations de l'élasticité linéaire sont couplées aux équations de l'électrostatique par l'intermédiaire des coefficients piézoélectriques.

$$\sigma_{ij} = C^{E}_{ijkl}.\varepsilon_{kl} - E_{kij}.E^{k} \quad (1.2)$$

$$D_i = E_{ikl}.\varepsilon_{kl} + \varepsilon^{S}_{ij}.E_k \quad (1.3)$$

Ou :

e_{kij} ,ε_{ij}^{S}, C_{ijkl}^{E}

sont respectivement appelées les constantes élastiques mesurées à champ électrique ***E*** constant, les constantes piézoélectriques et les constantes diélectriques mesurées à déformations constantes avec négligent la température

Une notation matricielle plus condensée peut être introduite en condensant les indices ***ij***

Ou :

kl par ***p*** ou ***q*** suivant les conventions données à la table 1.1 :

ij ou **kl**	**p** ou **q**
11	1
22	2
33	3
23 ou 32	4
31 ou 13	5
12 ou 21	6

TABLE 1.1 : CORRESPONDANCE ENTRE LES NOTATIONS TENSORIELLE ET MATRICIELLE.[2]

Les équations constitutives peuvent alors être réécrites sous la forme :

$$\sigma_P = C_{pq}^{E}.\varepsilon_q - E_{kp}.E^k \qquad (1.4)$$

$$D_i = e_{iq}.\varepsilon_q + \varepsilon_{ik}^{S}.E_k \qquad (1.5)$$

Avec :

$\varepsilon_q = \varepsilon_{ij}$ *i=j donc p=1.2.3*
I deferent j donc p=4.5.6

Enfin, l'étude cristallographique des matériaux piézoélectriques permet de déterminer le nombres de termes indépendants présents dans les équations de la mécanique continue développées au Le terme cristal est appliqué pour des solides où les atomes sont arrangés suivant un schéma qui se répète périodiquement tout au long de ce solide. Dépendant de leur degré de symétrie, les cristaux sont habituellement classés en 7 systèmes : triclinique, monoclinique, orthorhombique, tétragonal, trigonal, hexagonal et cubique. Ces sept systèmes peuvent encore être divisés en 32 classes suivant certaines particularités de symétrie. De ces 32 classes, 20 présentent des caractéristiques piézoélectriques. Chaque système cristallographique possède au moins une classe avec des propriétés piézoélectriques. Pour chacune de ces 20 classes,

TABLE 1.2 : UNITES CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

PIEZOELECTRIQUES.[2]

Notation	Unités (SI)	
		Elastique
Nm^{-2}	σ	contrainte
m^2N^{-1}	s	compléance
Nm^{-2}	c	rigidité
		Electrique
Vm^{-1}	E	champ
C	Q	charge
Cm^{-2}	D	déplacement
		Diélectrique
Fm^{-1}	ε	permittivité
mF^{-1}	β	imperméabilité
		Piézoélectrique
CN^{-1}	d	*d*-constante
Cm^{-2}	e	*e*-constante
$V\ mN^{-1}$	g	*g-constante*
NC^{-1}	h	*h*-constante

Par exemple, le *Titanate de Baryum* présente une symétrie cristallographique du système tétragonale, classe dite 4mm. En fonction de ce type de symétrie cristalline, la topologie de la matrice élasto-piézo-diélectrique peut se simplifier sous la forme présentée à la figure 1.3 :

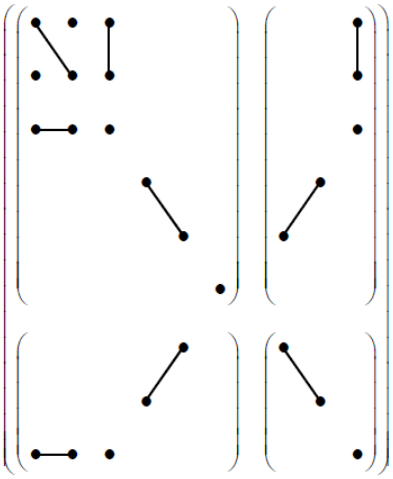


Figure 1.4 : Structure de la matrice élasto-piézo-diélectrique.[2]

1.5 Actionneurs piézoélectriques :

Il existe principalement deux types d'actionneurs piézoélectriques :

- les actionneurs directs, dans lesquels le déplacement obtenu est égale à la déformation du matériau piézoélectrique. Les actionneurs directs permettent d'obtenir des courses entre 0 et 100 µm ;
- les actionneurs amplifiés, dans lesquels un dispositif mécanique vient amplifier ce mouvement, d'un facteur de 2 à 20. Les actionneurs amplifiés ont généralement des courses comprises entre 0,1 et 1 mm.

Aujourd'hui, ce sont les céramiques multicouches qui sont traditionnellement utilisées dans les actionneurs piézoélectriques. L'intégration de ce type de matériau impose des précautions spécifiques. On peut citer en particulier la nécessité d'assurer une précontrainte mécanique ou d'éviter les efforts en torsion. Sous réserve d'une bonne conception et utilisation, les actionneurs piézoélectriques sont extrêmement fiables et robustes.

Un des premiers domaines d'application a été le domaine spatial, où leur faible échauffement et leur haute densité énergétique sont des atouts majeurs. Ils sont également utilisés pour le nano positionnement, la création de vibrations, le contrôle actif de vibrations.

Aujourd'hui, outre le domaine spatial, les actionneurs piézoélectriques sont utilisés dans plusieurs domaines :

- dans les microscopes à sonde locale. Le microscope à force atomique et le microscope à effet tunnel emploient la piézoélectricité pour réaliser les petits déplacements nécessaires au balayage de la surface sondée ;
- dans le monde industriel pour de l'assistance à l'usinage par création de vibrations ;
- le contrôle de vibrations ;
- la commande de certains injecteurs en automobile est réalisée grâce à des matériaux piézoélectriques. Cette technique, introduite au début des années 2000, permet notamment de gagner en rapidité d'injection et en consommation. De même, certaines imprimantes à jet d'encre utilisent des éléments piézoélectriques pour produire les fines gouttelettes qui sont propulsées sur le papier ;
- dans les applications opto-acoustiques : par micro-positionnement piézoélectrique de miroir, l'ajustement de la longueur de la cavité laser peut être pilotée pour optimiser la longueur d'onde du faisceau ;
- en optique adaptative en astronomie : des actionneurs piézoélectriques sont utilisés pour déformer un miroir afin de corriger les effets de la turbulence atmosphérique .[l1]

1.6 moteurs piézoélectriques :

Les moteurs piézoélectriques, ou « piézo-moteurs », utilisent l'effet piézoélectrique inverse pour convertir un signal électrique en mouvement continu, rotatif ou linéaire. On parle parfois également de « moteur ultrasonique », en référence à la gamme de fréquences dans laquelle sont activés les éléments piézoélectriques. Il existe plusieurs principes de fonctionnement, qu'on peut classer en grandes familles selon que le mouvement est généré par une onde stationnaire ou une onde progressive produite dans le matériau piézoélectrique

Les principaux atouts des moteurs piézoélectriques sont les suivants :

- ils présentent des couples élevés et des vitesses lentes ;
- ils peuvent être miniaturisés facilement ;
- ils présentent un très bon rapport poids/puissance ;
- ils sont rapides et très précis ;
- ils sont discrets, voire silencieux.

En revanche :

- ils ont une durée de vie limitée à cause des effets de frictions ;
- ils requièrent des alimentations électriques à hautes fréquences ;
- les céramiques piézoélectriques peuvent être coûteuses et délicates à intégrer au dispositif.

Les applications principales des moteurs piézoélectriques se trouvent dans les cas où leur taille réduite répond à des contraintes d'encombrement : systèmes autofocus d'appareils photographiques, dans les mécanismes de vitre électrique de voiture .[l1]

1.7 MODELISATION DES LAMINES PIEZOELECTRIQUES

Plusieurs recherches ont déjà été effectuées pour modéliser correctement les interactions électromécaniques des laminés piézoélectriques. Les laminés piézoélectriques sont conçus pour être sensibles aux effets transverses, c'est-à-dire que la direction de déformation est dominée par les grandeurs ***31*** ou ***32*** du couplage électromécanique.

la déformation dominante d'un laminé est perpendiculaire au champ électrique appliqué.[3]

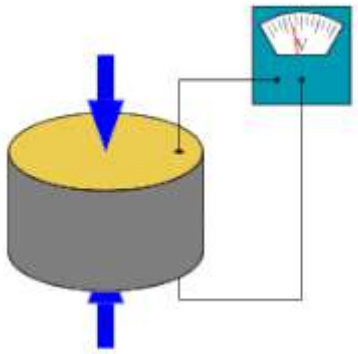


Figure 1.5 : Mode opérationnel d'un laminé piézoélectrique1 [l1]

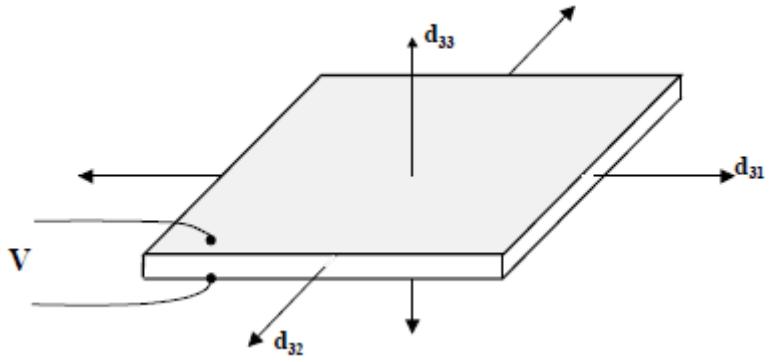


Figure 1.6 : Mode opérationnel d'un laminé piézoélectrique2[2]

Chapitre 02
Theorie des poutres

2.1 introduction sur chapitre 02 :

Dans ce chapitre on définira deux théories des poutres, la première est la théorie de Timoshenko, la deuxième est la théorie de Bernoulli, et un bref aperçu sur les élément finis.

La théorie des poutres est un modèle utilisé dans le domaine de la résistance de matériaux. On utilise deux modèles .

- la **théorie de Timoshenko** qui prend en compte l'effet du cisaillement.
- la **théorie d'Euler-Bernoulli**, qui néglige l'influence du cisaillement .

Le terme de « poutre » désigne un objet dont la longueur est grande par rapport aux dimensions transverses (section fine). *Stricto sensu*, une poutre est un élément de structure utilisé pour la construction dans les bâtiments, les navires et autres véhicules, et dans la fabrication de machines. Cependant, le modèle des poutres peut être utilisé pour des pièces très diverses à condition qu'elles respectent certaines conditions.[l2]

2 .2. La théorie de Timoshenko :

La théorie des faisceaux Timoshenko-Ehrenfest a été développée par Stephen Timoshenko et Paul Ehrenfes au début du 20e siècle. Le modèle prend en compte les effets de déformation de cisaillement et de flexion en rotation, ce qui le rend approprié pour décrire le comportement de poutres épaisses, de poutres composites sandwich ou de poutres soumises à une excitation haute fréquence lorsque la longueur d'onde s'approche de l'épaisseur du faisceau. L'équation résultante est du 4ème ordre mais, contrairement à la théorie des faisceaux d'Euler – Bernoulli, il existe également une dérivée partielle du second ordre. Physiquement, la prise en compte des mécanismes de déformation ajoutés réduit effectivement la rigidité de la poutre, tandis que le résultat est une flèche plus importante sous une charge statique et des fréquences propres prédites plus faibles pour un ensemble donné de conditions aux limites. Ce dernier effet est plus perceptible pour les fréquences plus élevées lorsque la longueur d'onde

devient plus courte (en principe comparable à la hauteur du faisceau ou plus courte), et donc la distance entre les forces de cisaillement opposées diminue. L'effet d'inertie rotative a été introduit par Bresse et Rayleigh.

Si le module de cisaillement du matériau de la poutre se rapproche de l'infini - et donc la poutre devient rigide en cisaillement - et si les effets d'inertie de rotation sont négligés, la théorie des poutres de Timoshenko converge vers la théorie ordinaire des poutres.[l3]

Cette théorie prend en considération les déformations du cisaillement et admet trois champs de déplacement (deux champs de translation et un champ de rotation), illustrés par la Figure (2.1)

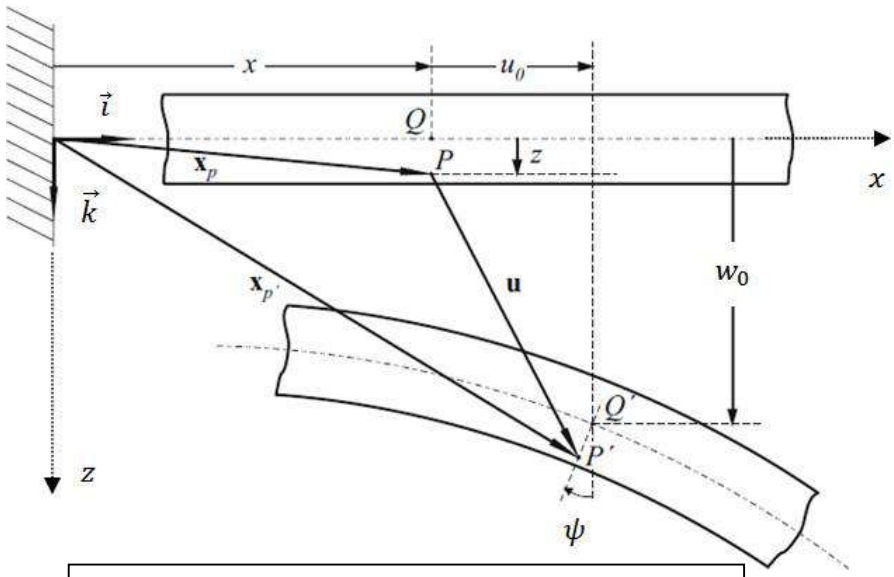
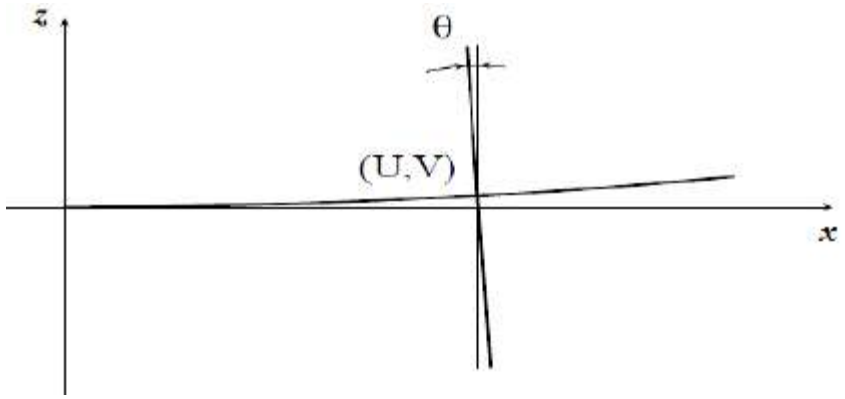


Figure 2.1 Déplacement d'un point de la poutre[9]



Fegure2.2 : Déplacements d'une poutre plane[10]

2.2.1 Hypothèses relatives aux poutres:

Pour une poutre, la longueur est grande par rapport aux dimensions de la section.

- L'ensemble des centres de sections droites successives constituants la poutre représente une ligne ou courbe continue appelée *fibremoyenne*.
- Les sections droites sont perpendiculaires à la fibre moyenne.
- Le rayon de courbure est grand par rapport aux dimensions des sections droites.
- Les sections droites de la poutre sont indéformables.
- L'hypothèse de Barré Sant-venant est prise en compte dans la considération des actions des efforts. Un système d'actions de surfaces agissant sur une petite zone n'influence les contraintes que par sa résultante générale, et son moment résultant.[5]
- Le champ électrique possède une seule direction (suivant *z*)

Le déplacement d'un point *P* quelconque de la poutre est donné par (figure 2.1) :

$$U = X_p - X_{P'} \qquad (2.1)$$

$$X_p = x\vec{\imath} + z\vec{k} \qquad (2.2)$$

$$X_{P'} = (x + u_0 - z.\sin\varphi).\vec{i} + (w_0 + z\cos\varphi).\vec{k} \qquad (2.3)$$

2.2.2 La piézoélectricité appliquée aux poutres :

en admettant les effets de la température ainsi que les hypothèses énumérées, et cela en appliquant la loi de Hooke généralisée et la relation du déplacement diélectrique pour les matériaux piézoélectriques :

Après calcul les formes finales suivantes sont obtenues :

$$\sigma_x = \left(Q_{11} - \frac{Q_{12}^2}{Q_{22}}\right)\varepsilon_X - \left(e_{31} - \frac{Q_{21}}{Q_{22}}e_{32}\right)E_z - \lambda_1\Theta \qquad (2.4)$$

$$\tau_{xz} = \left(Q_{55} - \frac{Q_{45}^2}{Q_{44}}\right)\gamma_{Xz} \qquad (2.5)$$

$$D_z = \left(\bar{\varepsilon}_{33} - \frac{e_{32}^2}{Q_{22}}\right)E_z - \left(e_{31} - \frac{Q_{21}}{Q_{22}}e_{32}\right)\varepsilon_x + p_3\Theta \qquad (2.6)$$

On distingue deux cas de figure, cas d'un montage en série et celui en parallèlle. Dans le cas où la couche piézoélectrique est montée en parallèle, le champ électrique et la polarisation possèdent la même orientation. (Figure 2.3)

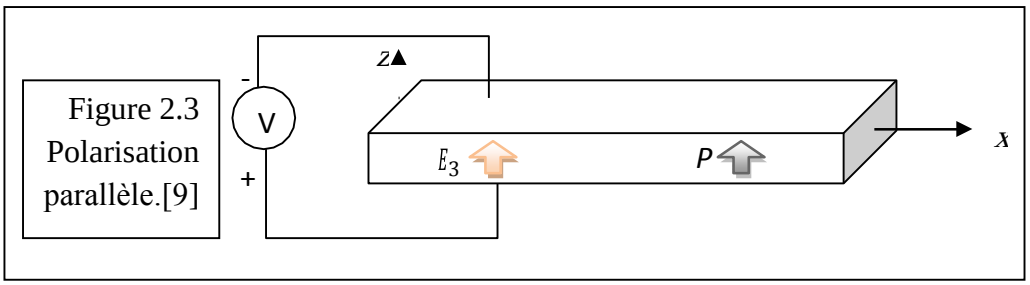


Figure 2.3 Polarisation parallèle.[9]

Dans le cas ou la couche piézoélectrique est montée en série dite antiparallèle, le champ électrique et la polarisation possèdent deux orientations différentes . (Figure 2.4)

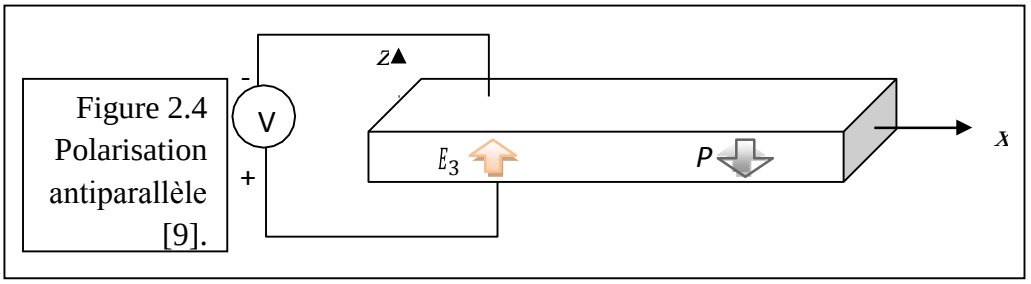


Figure 2.4 Polarisation antiparallèle [9].

Alors pour les poutres bimorphes on peut distinguer deux cas de figures. Si les deux couches étaient en parallèle, le champ électrique appliqué ne possède pas le même sens. [6][7] (Figure 2.5)

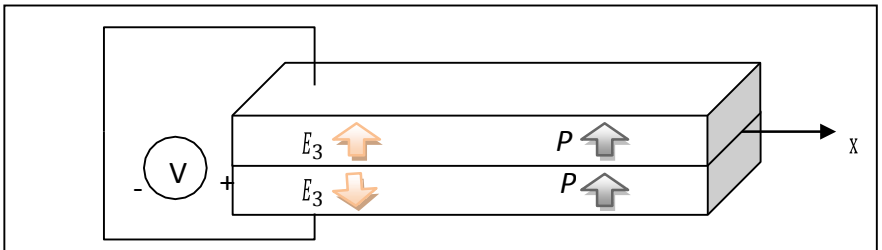


Figure 2.5 Montage en parallèle.[9]

A cette étape ont doit ajouter une hypothèse relative au structures bimorphes.

- Tous déplacements communiqués à une couche sera intégralement transmis a l'autre. D'une autre façon, les deux couches sont parfaitement collées.

si les deux couches étaient en série, le champ électrique appliqué possède le même sens [6]

(Figure 2.6) :

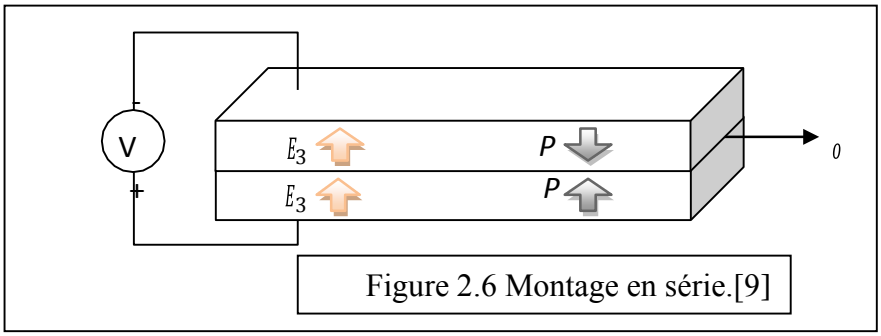


Figure 2.6 Montage en série.[9]

2 .3. Théorie d'Euler – Bernoulli :

La théorie des poutres d'Euler – Bernoulli (également connue sous le nom de théorie des poutres d'ingénieur ou théorie classique des poutres) est une simplification de la théorie linéaire de l'élasticité qui permet de calculer les caractéristiques de charge et de déflexion des poutres. Il couvre le cas des petites déformations d'une poutre qui ne sont soumises qu'à des charges latérales. Il s'agit donc d'un cas particulier de la théorie des faisceaux de Timochenko. Il a été énoncé pour la première fois vers 1750, mais n'a été appliqué à grande échelle qu'au développement de la tour Eiffel et de la grande roue à la fin du 19e siècle. Suite à ces démonstrations réussies, il est rapidement devenu une pierre angulaire de l'ingénierie et un catalyseur de la deuxième révolution industrielle. Des modèles mathématiques supplémentaires ont été développés tels que la théorie des plaques, mais la simplicité de la théorie des poutres en fait un outil important dans les sciences, en particulier le génie structurel et mécanique.

Le consensus dominant est que Galileo Galilei a fait les premières tentatives de développement d'une théorie des poutres, mais des études récentes affirment que Leonardo da Vinci a été le premier à faire les observations cruciales. Da Vinci n'avait pas la loi et le calcul de Hooke pour compléter la théorie, tandis que Galilée était retenu par une hypothèse incorrecte qu'il avait faite.

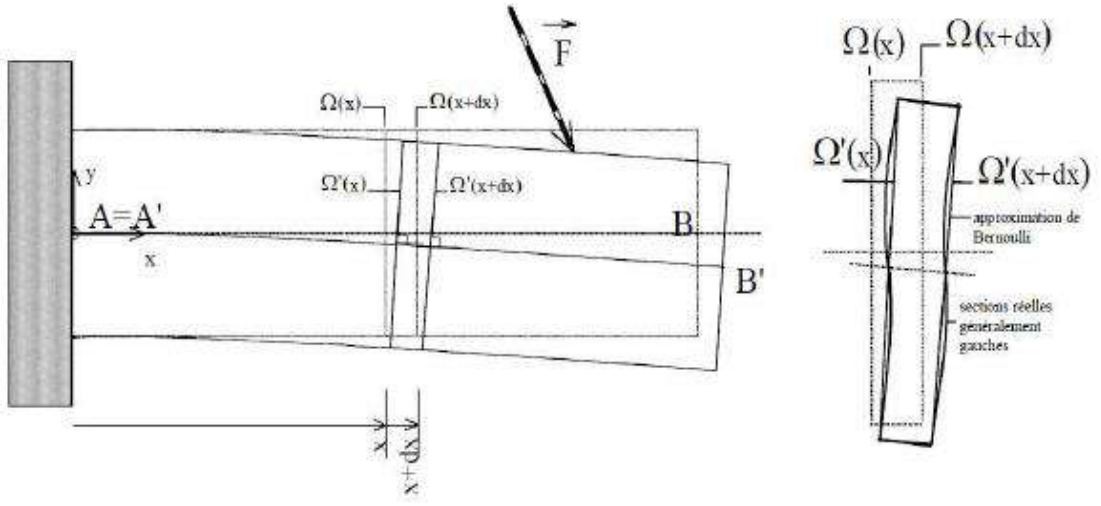
La poutre Bernoulli porte le nom de Jacob Bernoulli, qui a fait les découvertes importantes. Leonhard Euler et Daniel Bernoulli ont été les premiers à mettre au point une théorie utile vers 1750. À l'époque, la science et l'ingénierie étaient généralement considérées comme des domaines très distincts, et il y avait un doute considérable qu'un produit mathématique du milieu universitaire pouvait être fiable pour des applications pratiques de sécurité. Les ponts et les bâtiments ont continué à être conçus par des précédents jusqu'à la fin du XIXe siècle, lorsque la tour Eiffel et la grande roue ont démontré la validité de la théorie à grande échelle. [l4]

Le caractère linéique de la géométrie des poutres fait qu'on s'attend à ce que les phénomènes prépondérants soient essentiellement longitudinaux. On énonce alors les hypothèses de Bernoulli:

- **Les sections droites restent planes.**
- **Les sections droites se déforment librement dans leur plan.**
- **La variation des déformations de la section le long de la poutre est très petite.**

Autrement dit, toute section droite d'une poutre subit un déplacement de solide rigide qui la maintient perpendiculaire à la ligne moyenne déformée. Cette hypothèse se vérifie pour les déformations dues aux contraintes normales, mais non pour celles que provoquent les contraintes tangentielles qui entraînent un gauchissement des sections. Une proposition plus proche de la réalité expérimentale s'énoncerait deux sections droites infiniment voisines deviennent après déformation, deux sections qui sont dans le cas le plus général, gauches, mais superposables par simple déplacement. Dans les poutres à section pleine, le gauchissement n'affecte guère la distribution des contraintes normales.

Soit une poutre encastrée en A Soit une poutre encastrée en B , soumise à l'action d'une force F Sur le parement de la poutre, traçons 2 sections droites $\Omega(x)$, $\Omega(x)'$ voisines de dx (lignes$\perp$ à la ligne moyenne dans la configuration non chargée). Après l'application de la charge F , ces lignes se déplacent, sans se déformer, c'est à dire qu'elles restent toujours droites. On en conclue que les sections droites restent planes, de plus on constate qu'elles restent perpendiculaires à la ligne moyenne déformée, d'où l'hypothèse de Bernoulli .[10]



Fegure2.7 : La déformation d'une poutre de type Bernoulli.[10]

La différence réside dans les hypothèses des deux théories. Dans l'Euler-Bernoulli, la section transversale est perpendiculaire à la ligne de pliage. Dans une poutre Timoshenko, vous autorisez une rotation entre la section transversale et la ligne de pliage. Cette rotation provient d'une déformation de cisaillement, qui n'est pas incluse dans une poutre de Bernoulli. Par conséquent, la poutre de Bernoulli est plus rigide. Cependant, si la relation entre la longueur et l'épaisseur est suffisamment grande, l'erreur entre les deux modèles est faible. Vous avez besoin des travaux de poutre Timoshenko pour les structures de poutre plus courtes.

2 .4. Discrétisation par éléments finis :

2.4.1 Définition générale avec méthode de élément finis :

la méthode des éléments finis (MEF, ou FEM pour *finite élément méthod*) est utilisée pour résoudre numériquement des équations aux dérivées partielles. Celles-ci peuvent par exemple représenter analytiquement le comportement dynamique de certains systèmes physiques (mécaniques, thermodynamiques, acoustiques, etc.).
Concrètement, cela permet par exemple de calculer *numériquement* le comportement d'objets même très complexes, à condition qu'ils soient continus et décrits par une équation aux dérivées partielles linéaire : mouvement d'une corde secouée par l'un de ses bouts, comportement d'un fluide arrivant à grande vitesse sur un obstacle, déformation d'une structure métallique,

La méthode des éléments finis fait partie des outils de mathématiques appliquée.

Il s'agit de mettre en place, à l'aide des principes hérités de la formulation variationnelle ou formulation faible, un algorithme discret mathématique permettant de rechercher une solution approchée d'une équation aux dérivées partielles (ou EDP) sur un domaine compact avec conditions aux bords et/ou dans l'intérieur du compact. On parle couramment de conditions de type dirichlet (valeurs aux bords) ou neumann (gradients aux bords) ou de robin (relation gradient/valeurs sur le bord).
Il s'agit donc avant tout de la résolution approchée d'un problème, où, grâce à la formulation variationnelle, les solutions du problème vérifient des conditions d'existence plus faibles que celles des solutions du problème de départ et où une discrétisation permet de trouver une solution approchée. Comme de nombreuses autres méthodes numériques, outre l'algorithme de résolution en soi, se posent les questions de qualité de la discrétisation :

- existence de solutions
- unicité de la solution
- stabilité
- convergence
- et bien sûr : mesure d'erreur entre une solution discrète et une solution unique du problème initial. [l5]

2.4.2 Discrétisation par élément finis :

Maintenant que la formulation variationnelle est développée, les expressions Contenues dans la fonctionnelle de Hamilton seront discrétisé par la méthode des éléments finis. Les deux cas d'utilisation des matériaux piézoélectrique sont Considérés, à savoir le cas ou ils sont utilisés comme actionneur, où le champ Électrique est imposé, et le cas ou ils sont utilisés comme capteur et le champ Électrique inconnu. [8]

La poutre est fractionnée en N éléments de longueur Le. Chaque élément est défini par deux nouds i et j ayant trois degrés de liberté chacun comme figure (2.8)

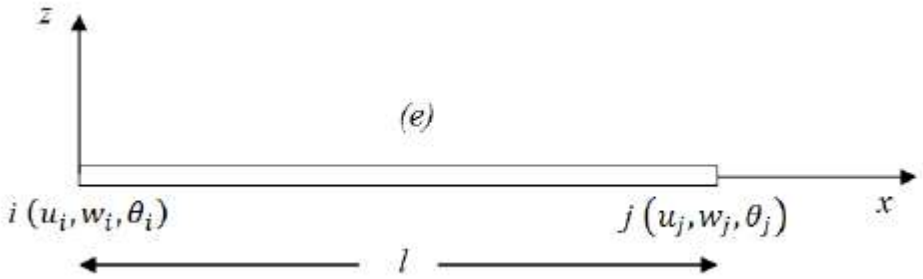


Figure 2.8 Degrés de liberté d'un élément de la poutre.[8]

Les déplacements généralisés $\{u\ w\ \theta\}^t$ sont discrétisés de la manière suivante : [8]

$$\{u \quad w \quad \theta\}^t = Nq_e \qquad (2.7)$$

Où :

$$\mathrm{N}=\begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 \\ 0 & N_3 & N_4 & 0 & N_5 & N_6 \\ 0 & N_7 & N_8 & 0 & N_9 & N_{10} \end{bmatrix} \qquad (2.8)$$

et la matrice d'interpolation définie par les fonction de formes suivantes :

$$N_1 = 1 - \xi$$

$$N_2 = 2\xi^3 - 2\xi^2 + 1$$

$$N_3 = L_e\xi(\xi - 1)^2$$

$$N_4 = \xi$$

$$N_5 = \xi^2(3 - 2\xi)$$

$$N_6 = L_e\xi^2(\xi - 1)$$

$$N_7 = \frac{6}{L_e}(\xi^2 - \xi)$$

$$N_8 = 3\xi^2 - 4\xi + 1$$

$$N_9 = \frac{6}{L_e}(-\xi^2 + \xi)$$

$$N_{10} = 3\xi^2 - 2\xi \qquad (2.9)$$

Où $\xi = \frac{x}{L_e}$ et le vecteur des degrés de liberté élémentaire q_e est composé de six degrés de liberté mécaniques :

$$q_e = \{u_i \quad w_i \quad \theta_i \quad u_j \quad w_j \quad \theta_j\}^t \qquad (2.10)$$

Le potentiel électrique est discrétisé de la manière suivante :

$$\Phi = N_\Phi \Phi_e \qquad (2.11)$$

Où N_Φ est la matrice d'interpolation définie par :

$$N_\Phi = \begin{bmatrix} 1 & \frac{-z}{h} & \frac{z}{h} \end{bmatrix} \qquad (2.12)$$

Et Φ_e est le vecteur des degrés de liberté élémentaire composé de deux degrés de liberté éléctriques :

$$\Phi_e = [\Phi_1 \quad \Phi_2]^t \qquad (2.13)$$

2.4.3 les matrices élémentaires des élément finis :

a- Matrice de rigidité élémentaire:

Les matrices élémentaires de rigidité dues à la piézo-électricité exprimées par :

$$[k_{u\Phi}]_e = -\int_\Omega \widetilde{e_{31}} \left(\left[\frac{dN_u}{\delta x}\right]^t [N_\Phi] + z \left[\frac{dN_\theta}{\delta x}\right]^t [N_\Phi] \right) d\Omega \qquad (2.14)$$

$$[k_{\Phi u}]_e = -\int_\Omega \widetilde{e_{31}} \left([N_\Phi]^t \left[\frac{dN_u}{\delta x}\right] + [N_\theta]^t \left[\frac{dN_\theta}{\delta x}\right] \right) d\Omega \qquad (2.15)$$

La matrice de rigidité élémentaire construite sous la forme :

$$[k_e] = \begin{bmatrix} [k_{uu}]_e & [k_{u\Phi}]_e \\ [k_{\Phi u}]_e & [k_{\Phi\Phi}]_e \end{bmatrix} \qquad (2.16)$$

Les termes $[k_{uu}]_e$ et $[k_{\Phi\Phi}]_e$ caractérisent respectivement les composantes élastique et électrique de la structure. $[k_{\Phi u}]_e$ et $[k_{u\Phi}]_e$ caractérisent le couplage entre les deux composantes.[8]

b- Matrice de masse élémentaire :

la matrice de masse élémentaire. Elle est donnée par :

$$[M_e] = \rho \int_\Omega ([N_u]^t [N_u] + z^2 [N_\theta]^t [N_\theta] + [N_w]^t [N_w] - 2z[N_u]^t [N_\theta]) \dot{q}_e \, d\theta \qquad (2.17)$$

Chapitre 03
simulation avec workbench

3.1 Inroduction :

ANSYS, abréviation de ANalysis SYStem, est un programmeur basé sur la méthode des éléments finis, inventée par le Dr. Jon Swanson. Depuis 1970, la société Swanson a fondé SASI, en abrégé: Swanson Analysis Systems Inc, a commencé à publier ses versions logicielles jusqu'à la cinquième version (version 5.1), et après avoir vendu la société en 1994, son nom a changé pour Ansys Inc. Le programme Ansys s'intéresse à la résolution de problèmes linéaires et non linéaires de: mécanique des structures, mécanique des fluides, acoustique, thermodynamique, piézoélectricité et électromagnétisme conventionnel. Le programme contient un certain nombre d'éléments pour résoudre des problèmes unidimensionnels, bidimensionnels et tridimensionnels. Il existe actuellement deux versions du programme: ANSYS Classic et la version GUI appelée ANSYS Workbench.

La version classique :

La version classique contient un processeur primaire et un processeur secondaire (pré-processeur et post-processeur) programmés avec ce que l'on appelle un Tcl / Tk dont la mission est de définir la solution au problème (fonction). La plupart des utilisateurs de cette version utilisent le langage APDL, c'est-à-dire (Ansys Parametric Design Language) qui est utilisé pour la saisie d'informations et pour l'automatisation.

Version graphique :

Dans cette version (ANSYS Workbench), l'utilisateur est laissé à utiliser plus facilement pour décrire le problème mathématique, et pour l'écrire pour qu'il puisse être traité. Les logarithmes de cette version sont plus récents que les précédents et facilitent les recherches et les liens avec divers systèmes de CAO. En revanche, cette version ne contient pas toutes les applications que donne la version classique. En utilisant certaines commandes APDL, les applications de la version classique peuvent être insérées dans la version graphique et y être fusionnées.

En utilisant le langage Java Script, la version graphique peut être contrôlée automatiquement.[l6]

La plate-forme ANSYS Workbench est l'épine dorsale pour fournir un système de simulation complet et intégré. L'utilisation de Workbench pour vos simulations de développement de produits se traduira par une productivité accrue grâce aux

applications intégrées et à l'accès aux capacités multiphysiques et au niveau des systèmes.

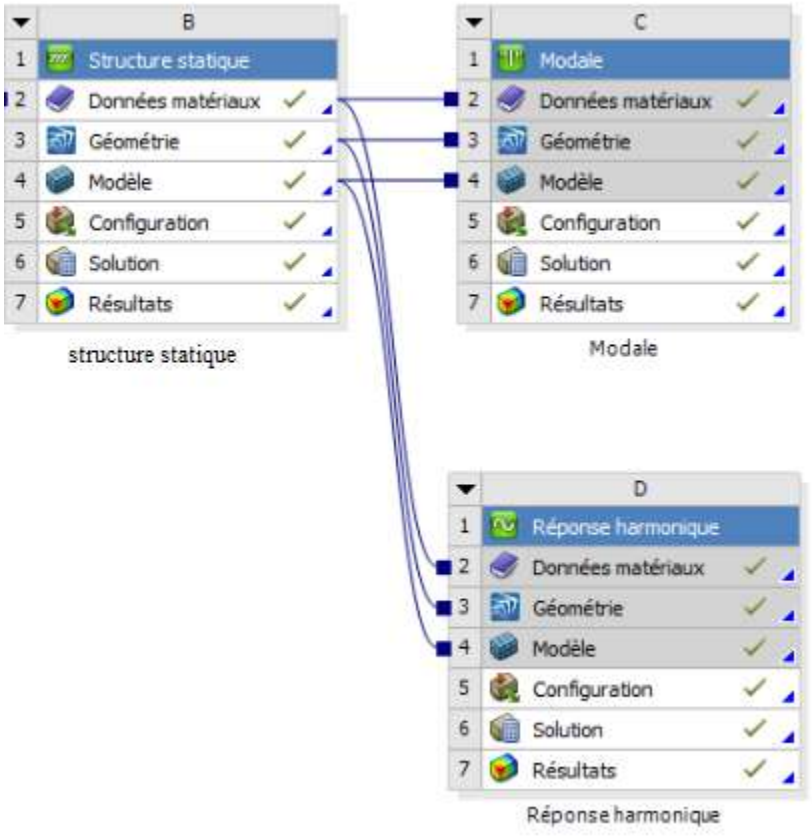
La plate-forme est basée sur une vue schématique du projet innovante qui relie l'ensemble du processus de simulation. Vous êtes guidé à travers des analyses multiphysiques même complexes avec une approche glisser-déposer pour sélectionner les modules et les capacités nécessaires pour chaque tâche de simulation.

Dans ce chapitre en va appliquer la piézoélectricité dans un 2 poutres de défèrent dimensions avec le but de regarder et calculer les valeurs des déplacements de cette poutres a un tension de piézoélectricité de 100 volt a 3 étapes :

* structure statique
* modale
* réponse harmonique

Certains poutre applique sur son une tension avec considération l'électrode de cette poutre est un surface et fixée .

FINALEMET obtient la simulation des déplacements de déférents poutres avec utilisation de workbench19.2



Fegure3.1 : opération de travail

3.2 parametres :

données des matériaux :

Pzt5 : [8]

$$\bar{Q} = \begin{bmatrix} 12.6 & 7.95 & 8.41 & 0 & 0 & 0 \\ 7.95 & 12.6 & 8.41 & 0 & 0 & 0 \\ 8.41 & 8.41 & 11.7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2.30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2.30 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.35 \end{bmatrix} . 10^{10}$$

$$[\bar{Q}]_{si} = {}^{N}/_{m^2}$$

Table de Ligne de propriétés 4 : Elasticité anisotrope

	A	B	C	D	E	F
1	D[*0,1] (Pa)	D[*0,2] (Pa)	D[*0,3] (Pa)	D[*0,4] (Pa)	D[*0,5] (Pa)	D[*0,6] (Pa)
2	1.26E+11					
3	7.95E+10	1.26E+11				
4	8.41E+10	8.41E+10	1.17E+11			
5	0	0	0	2.3E+10		
6	0	0	0	0	2.3E+10	
7	0	0	0	0	0	2.35E+10

Fegure3.2 : table de ligne de propriétes

$$\bar{e} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 17 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 17 & 0 & 0 \\ -6.5 & -6.5 & 23.3 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[\bar{e}]_{si} = {}^{c}/_{m^2}$$

commands 1 :

```
e31=-6.5
e32=-6.5
e33=23.3
tb,PIEZ,1,,,0                ! Matrice piézoélectrique [e]
tbdata,3,e31
tbda,9,e33
tbda,6,e32
!tbda,11,e42
!tbda,13,e51
```

command2 :

Après sélectionnée deux surface nommée (positif et négatif) , entrer cette code pour appliqué une tension de 100 volt sur la surface positif .

```
d, positif, volt, 100
d, négatif, volt, 0
```

command1 et command2 est programmer automatique sur ansys19.2 , vous pouvez éviter cette étapes de command si cas d'utiliser ansys19.2

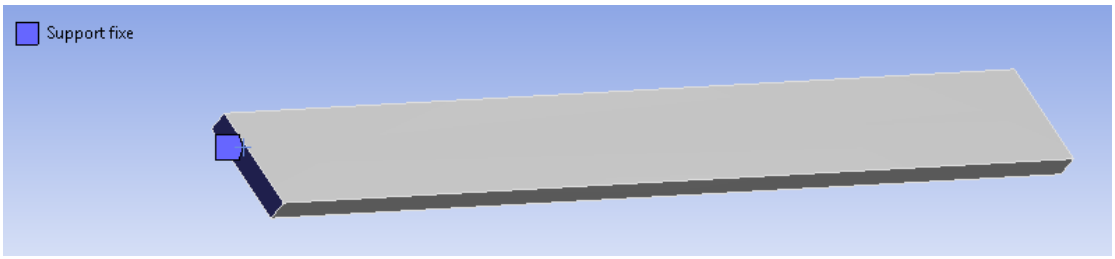
3.3 poutre 01 :

Les dimensions de la poutre1 sont données dans le tableau (3.1) :

La dimension	symbole	Valeur (m)
Longueur	L	0.05
Largeur	b	0.005
Epaisseur	h_p	0.001

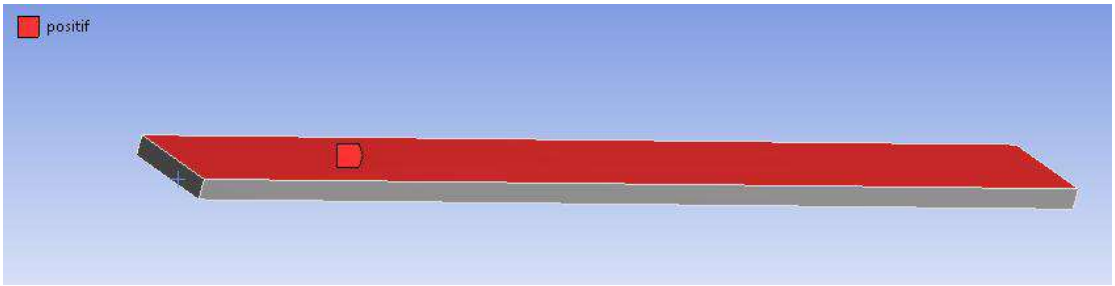
Tableau 3.1 : les dimensions de poutre01

fixation :

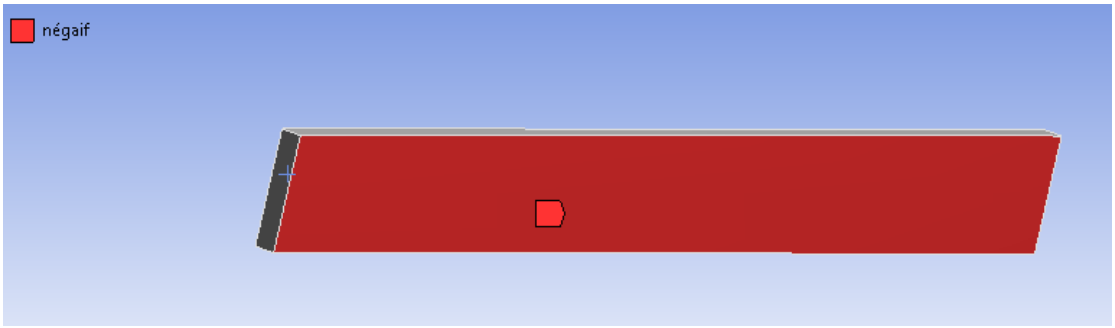


Fegure3.3 : fixation1

sélection nommé :

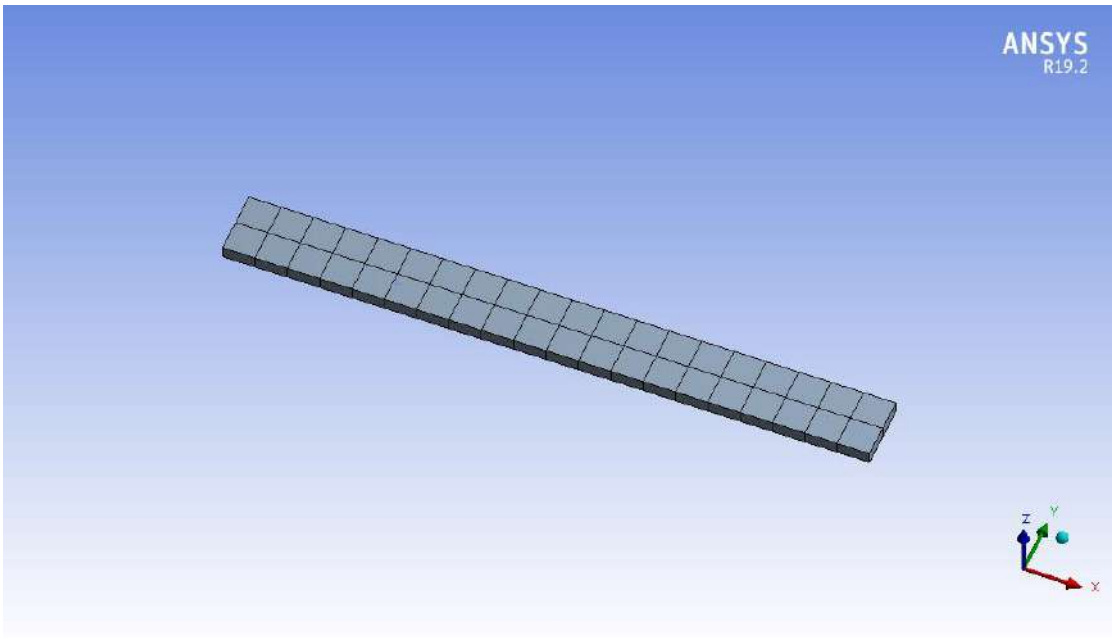


Fegure3.4 : voltage1.1



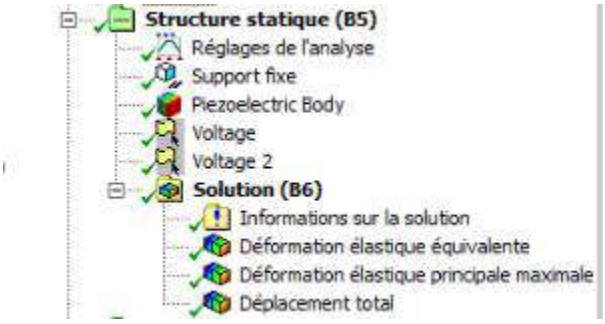
Fegure3.5 : voltage2.1

Maillage :



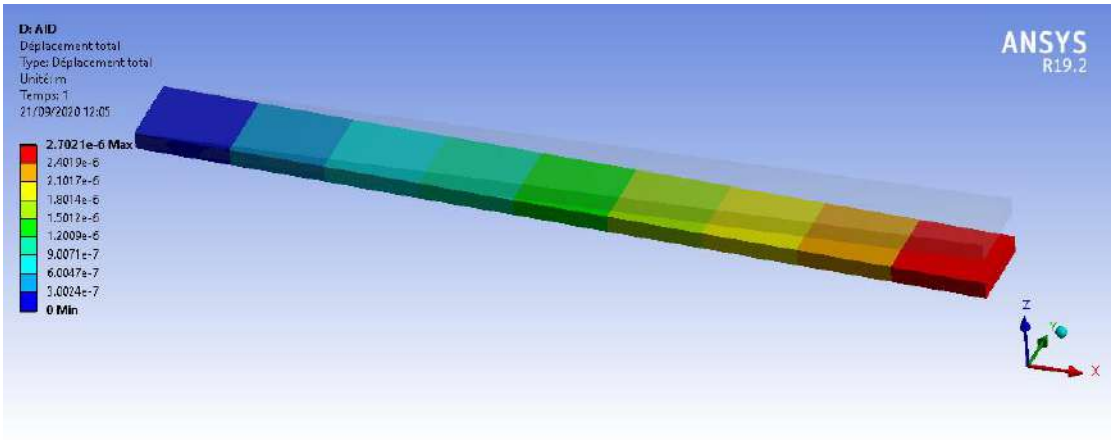
Fegure3.6 : maillage1

1+ En statique



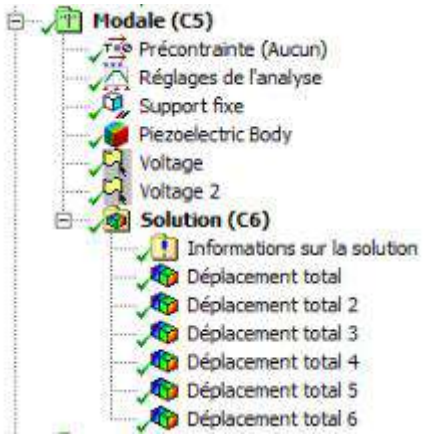
Fegure3.7 : statique1

La déformation totale



Fegure3.8 : la déformation totale de poutre01

2+ Les modes propres



Fegure3.9 : modale1

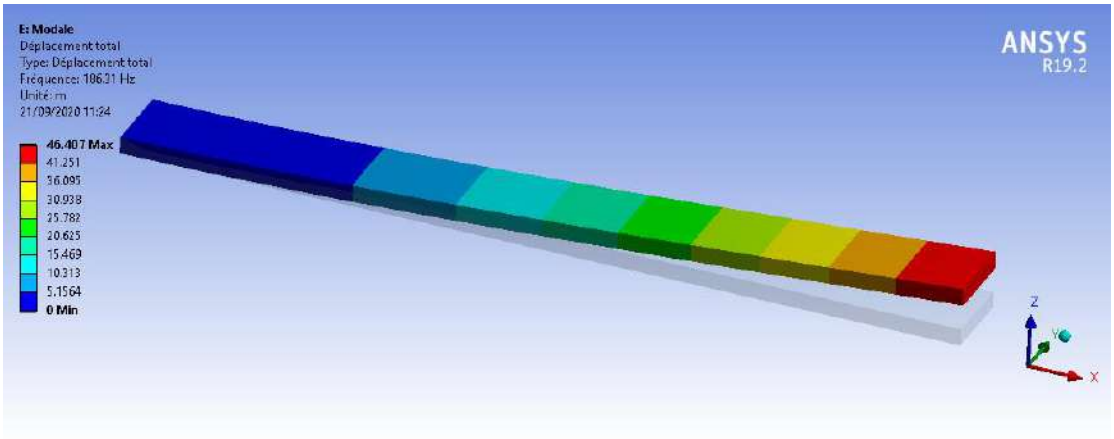
Les déplacement	Les fréquences (Hz)
1	**186.31**
2	**916.57**
3	**1166.7**
4	**3266.1**
5	**3386.3**
6	**5499**

Tableau 3.2 : les fréquences des déplacements de poutre01

Les déplacement	Valeur maximales
1	46.407
2	46.207
3	46.427
4	46.505
5	57.426
6	45.988

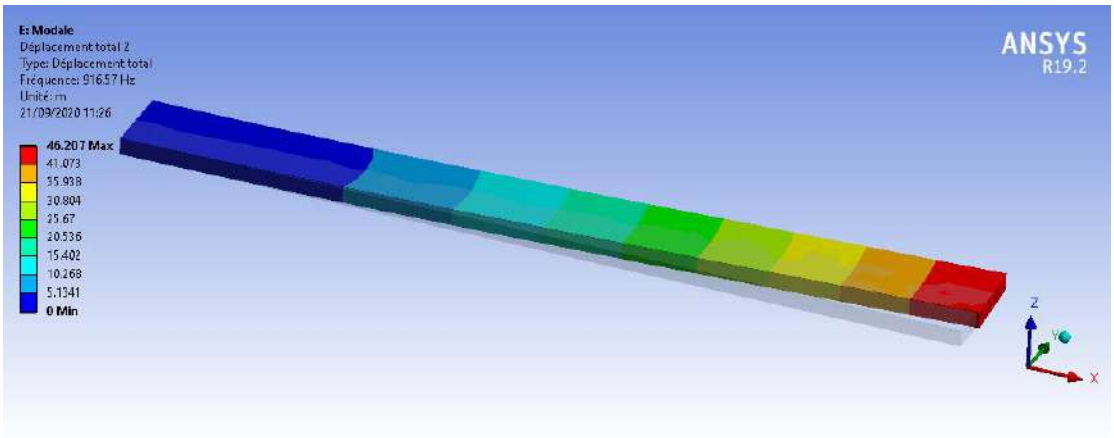
Tableau 3.3 : les valeurs maximales des déplacement de poutre01

Mode1



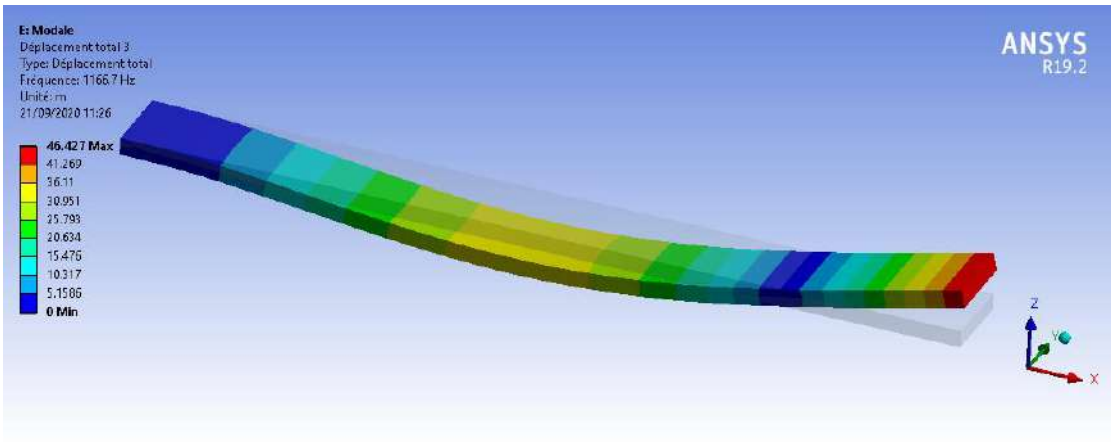
Fegure3.10 : mode1 modale1

Mode2



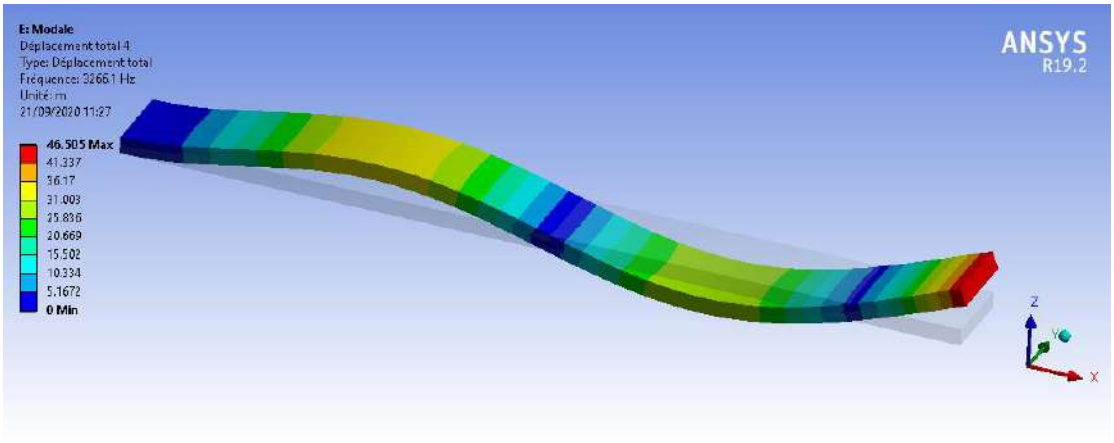
Fegure3.11 : mode2 modale1

Mode3



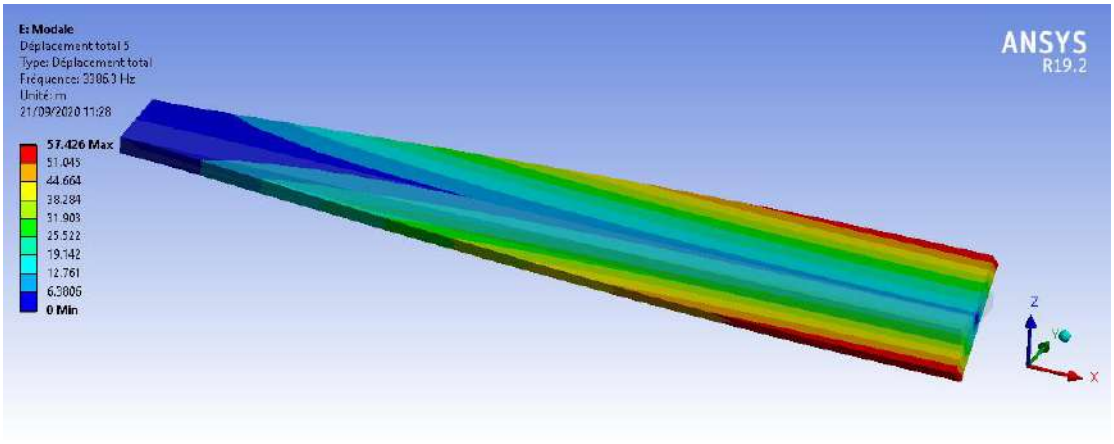
Fegure3.12 : mode3 modale1

Mode4



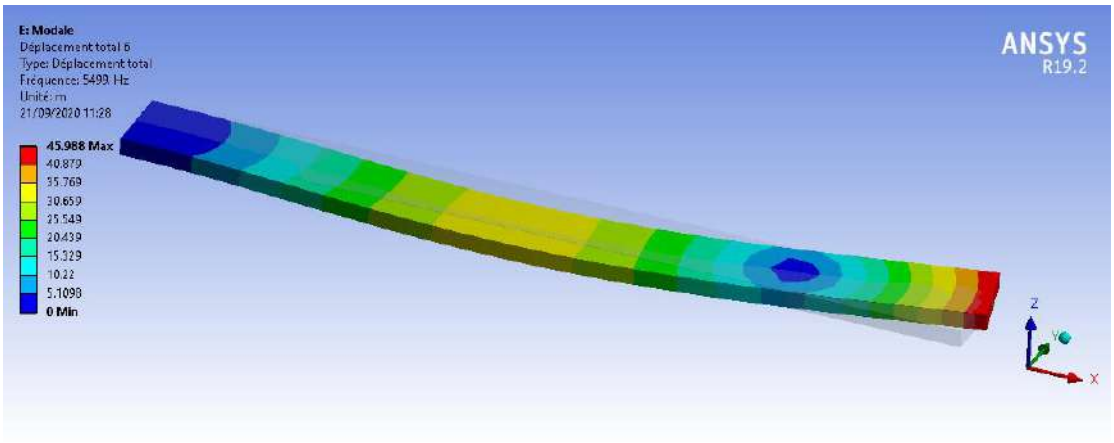
Fegure3.13 : mode4 modale1

Mode5



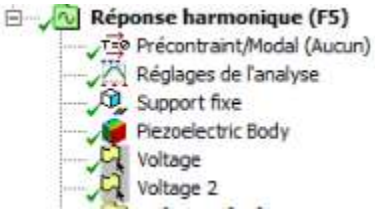
Fegure3.14 : mode5 modale1

Mode6

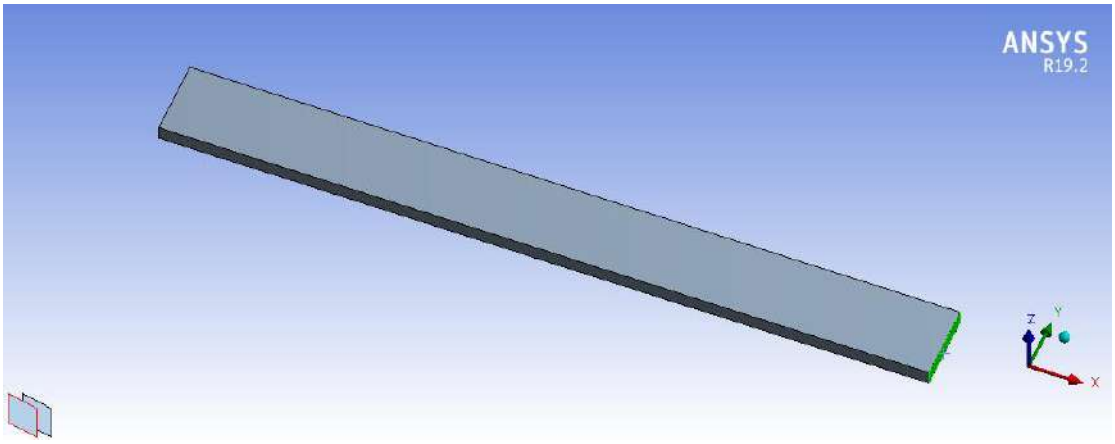


Fegure3.15 : mode6 modale1

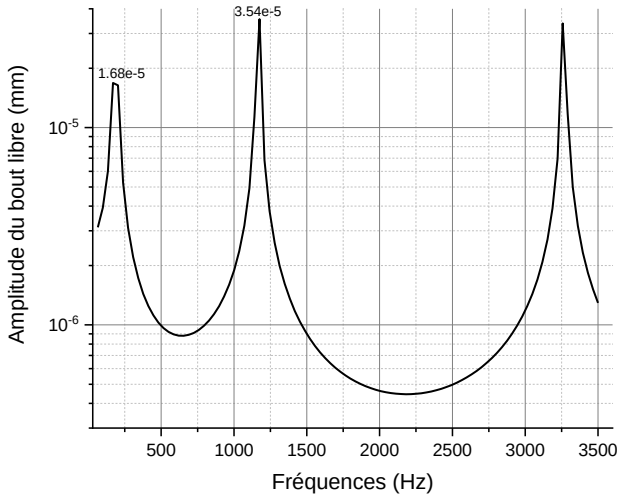
3+ Analyse harmonique



Fegure3.16 : analyse harmonique1



Fegure3.17 : surface pour etudier l'harmonique1



Fegure3.18 : la courbe d'analyse harmonique1

Lorsqu'une tension électrique de 100 volts est appliquée à la surface de la premiére poutre , la poutre 1 commence à vibrer selon l'axe X (l'objet d'étude est l'axe X) Cela équivaut à deux valeurs limites en amplitude . L'amplitude minimale est de 1.68 e-5 lorsque la valeur de vibration est comprise entre 0 et 500 . l'amplitude maximale est de 3.54e-5 entre 1000 et 1500 selon l'axe X.

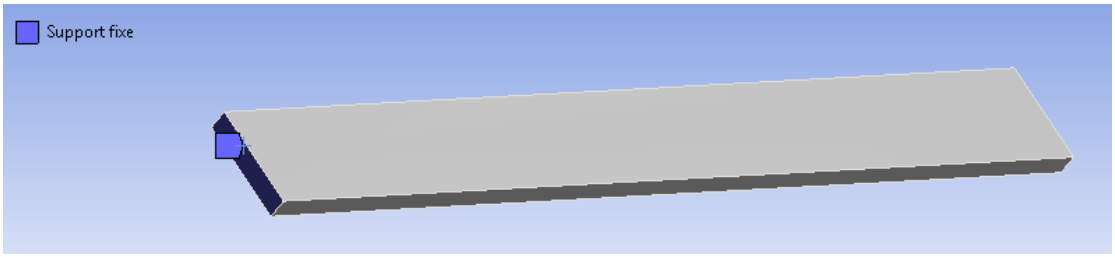
3.4 poutre 02 :

Les dimensions de la poutre2 sont données dans le tableau (3.4) :

La dimension	symbole	Valeur (m)
Longueur	L	0.025
Largeur	b	0.0025
Epaisseur	h_p	0.0005

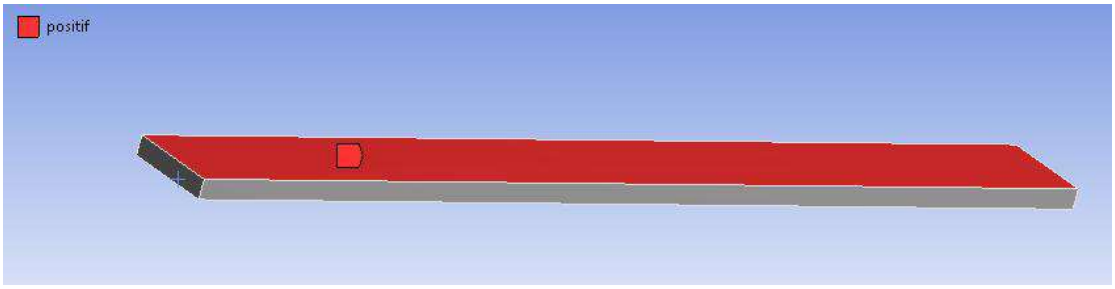
Tableau 3.4 : les dimensions de poutre02

fixation :

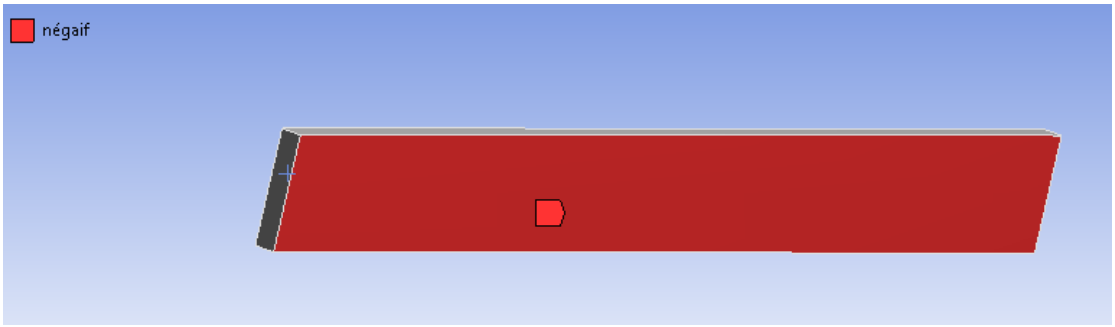


Fegure3.19 : fixation2

sélection nommé :

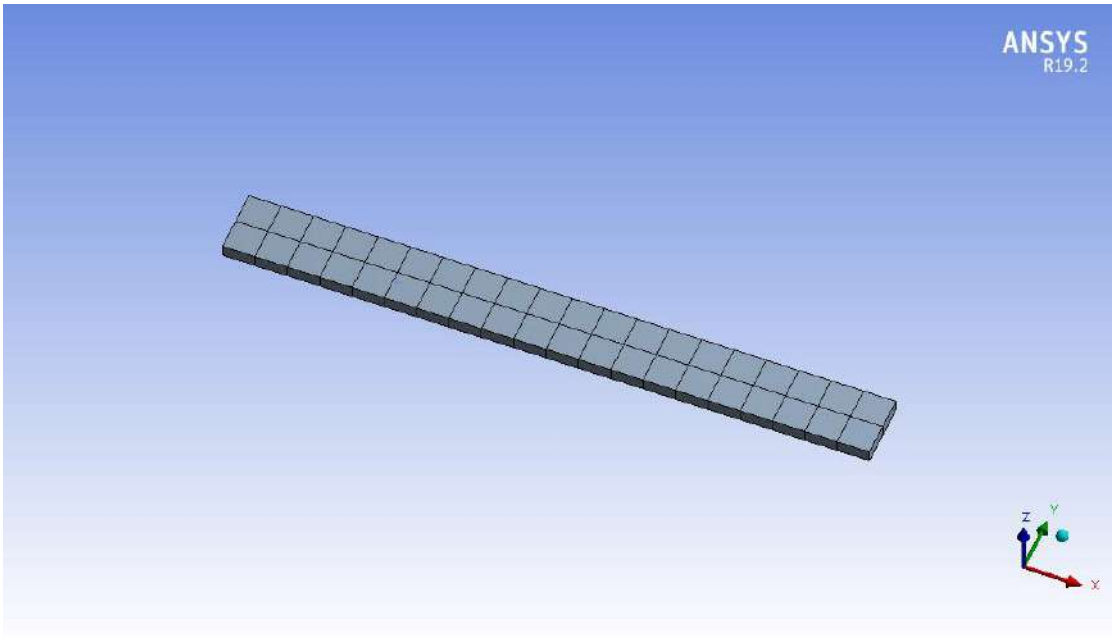


Fegure3.20 : voltage1.2



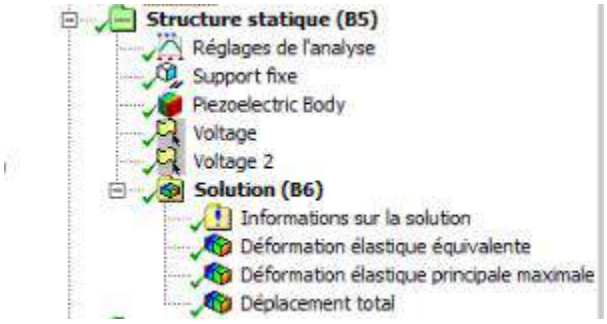
Fegure3.21 : voltage2.2

Maillage :



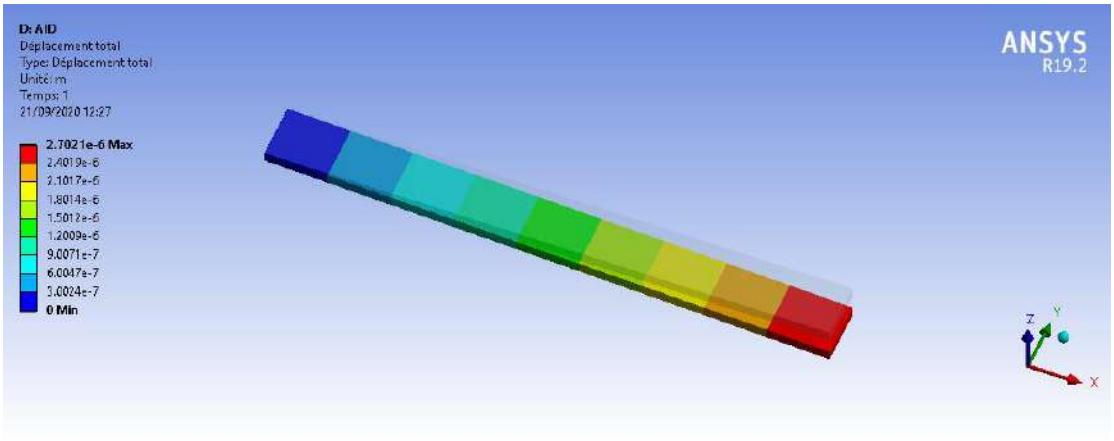
Fegure3.22 : maillage2

1+ En statique



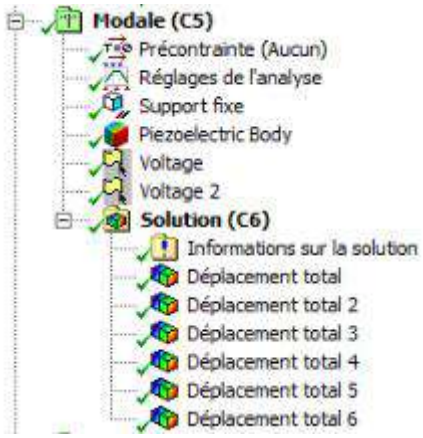
Fegure3.23 : statique2

Totale



Fegure3.24 : la déformation totale de poutre02

2+ Les modes propres2



Fegure3.25 : modale2

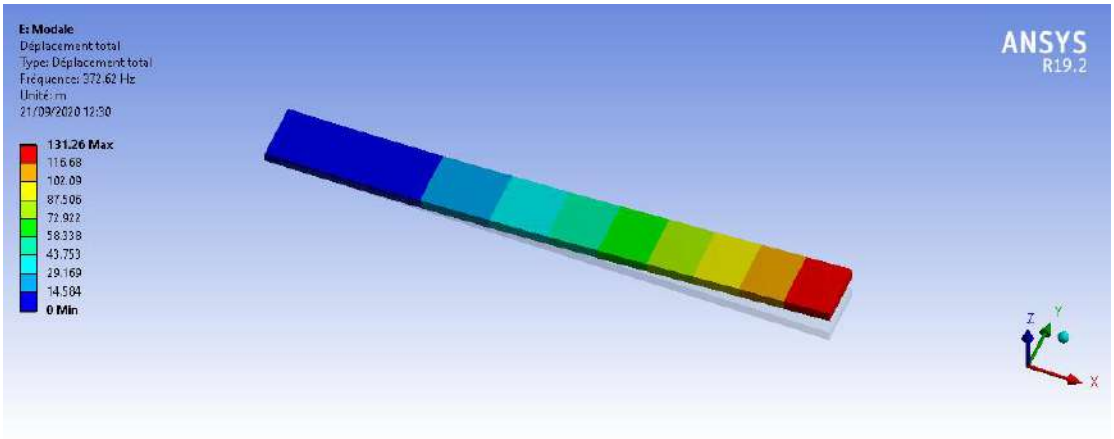
Les déplacements	Les fréquences
1	372.62
2	1833.1
3	2333.5
4	6532.2
5	6772.5
6	10988

Tableau 3.5 : les fréquences des déplacements de poutre02

Les déplacement	Valeurs maximales
1	131.26
2	130.69
3	131.32
4	131.53
5	162.42
6	130.08

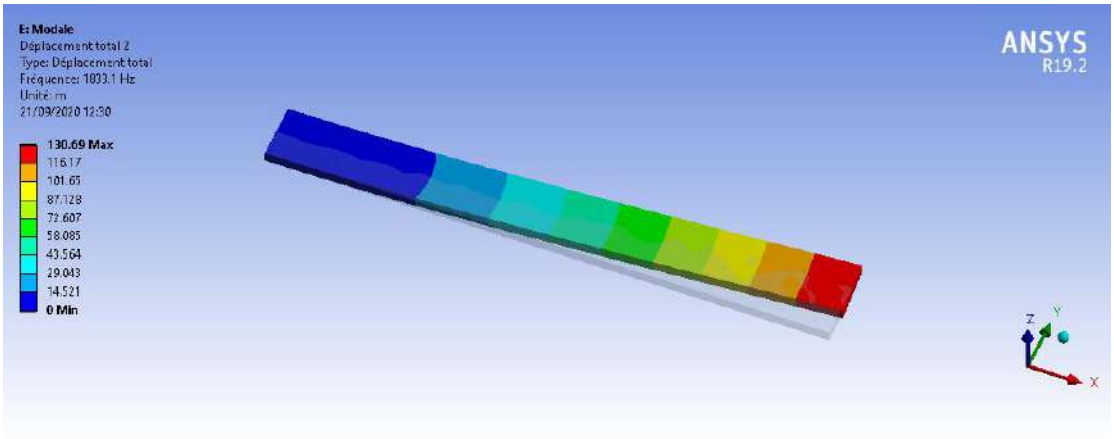
Tableau 3.6 : les valeur maximales des déplacement de poutre02

Mode1



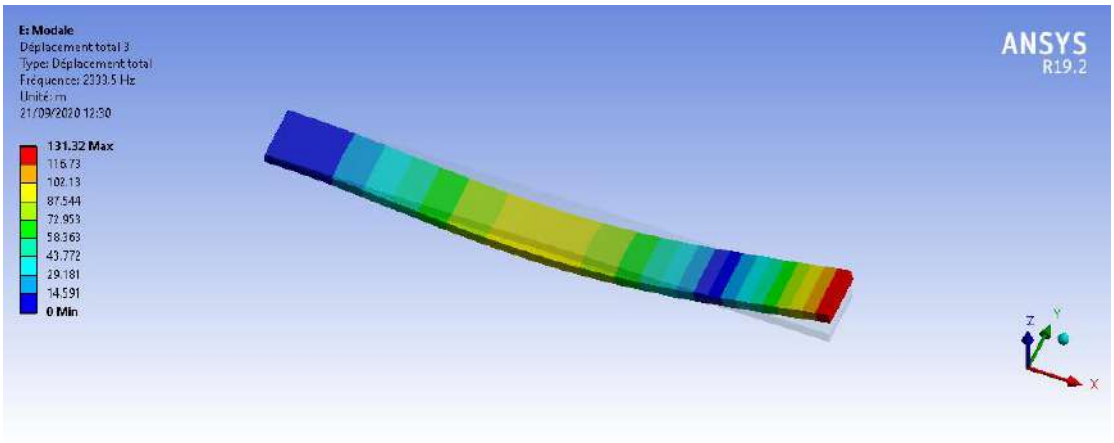
Fegure3.26 : mode1 modale2

Mode2



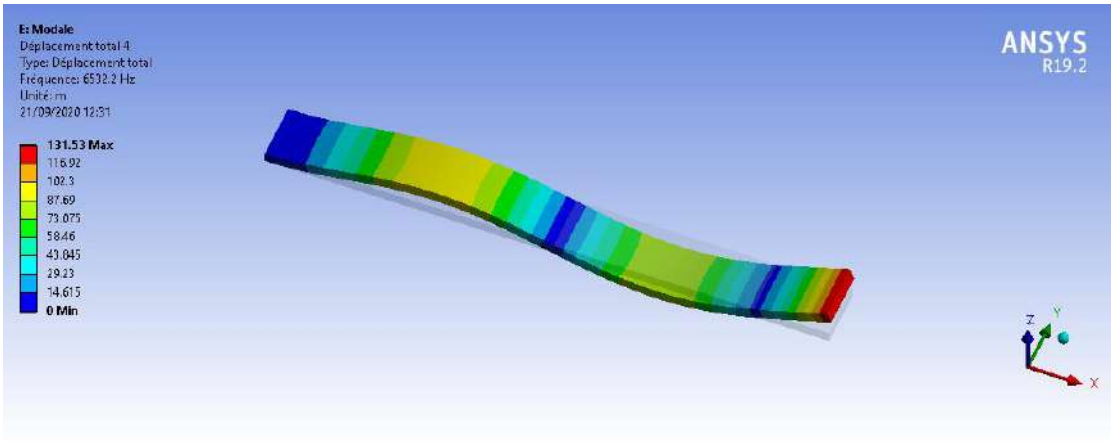
Fegure3.27 : mode2 modale2

Mode3



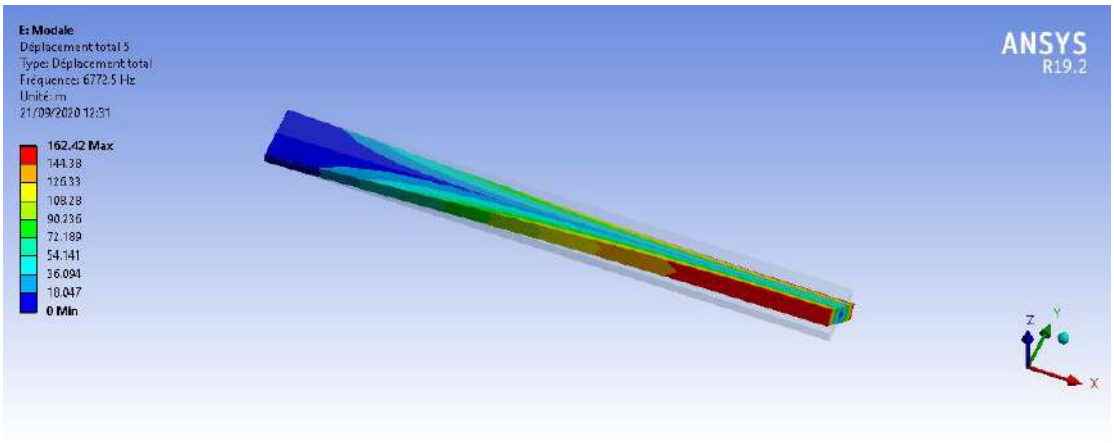
Fegure3.28 : mode3 modale2

Mode4



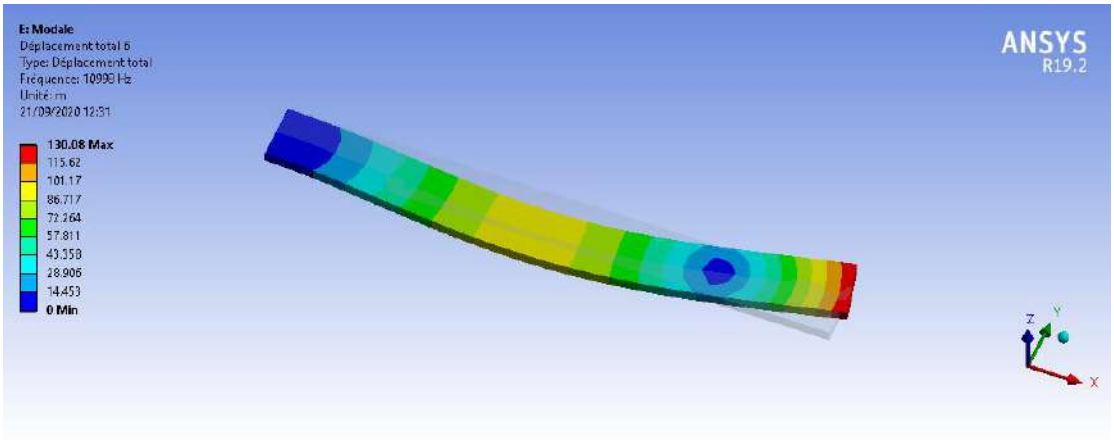
Fegure3.29 : mode4 modale2

Mode5



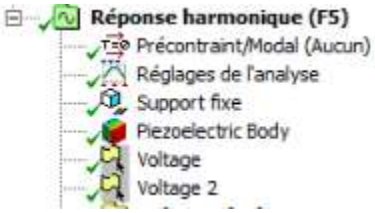
Fegure3.30 : mode5 modale2

Mode6

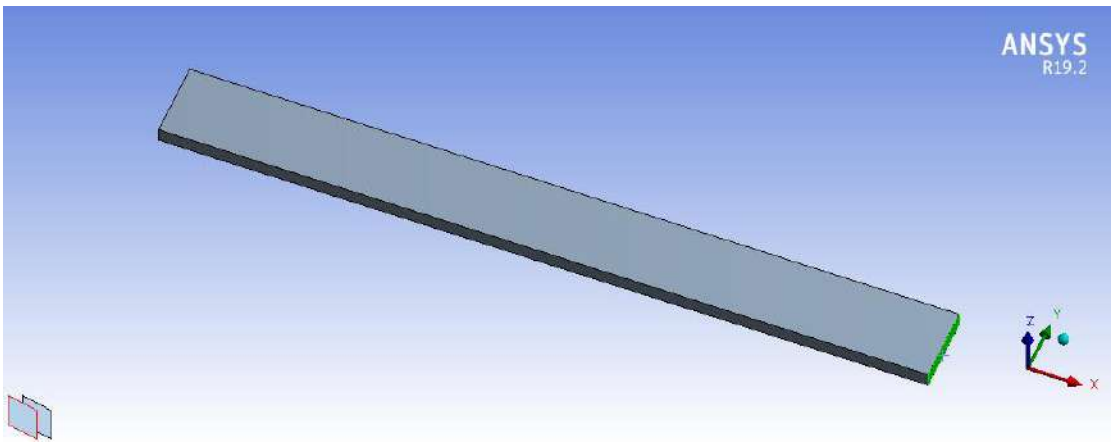


Fegure3.31 : mode6 modale2

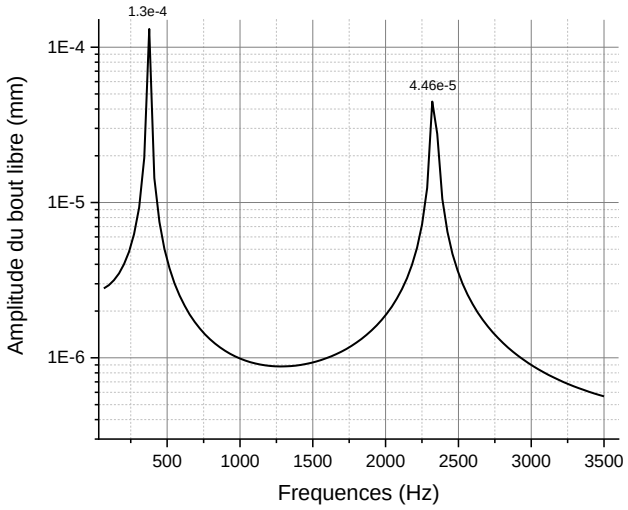
3+ analyse harmonique



Fegure3.32 : analyse harmonique2



Fegure3.33 : surface pour etudier l'harmonique2



Fegure3.34 : la courbe d’analyse harmonique2

Lorsqu'une tension électrique de 100 volts est appliquée à la surface de la deuxième poutre , la poutre 2 commence à vibrer selon l'axe X (l'objet d'étude est l'axe X)
Cela donne deux valeurs limites de l'amplitude . L’amplitude minimale est de 4,46e-5 lorsque la valeur de vibration est comprise entre 2000 et 2500 et elle est précisément comprise entre 2250 et 2500. L’amplitude maximale est de 1,3e-4 entre 250 et 500 selon l'axe X.

résultant :

Dans ce mémoire en a appliqué une tension électrique sur une poutre piézoélectrique formée par un matériaux en PZT-5 en porte à faux, en admettant 3 types de réponses <<structure statique, modale et harmonique>> on a aboutis aux résultats suivants.

1. Dans le cas de la poutre piézoélectrique en mode actionneur, les vibrations verticales sont aussi accompagnées de vibrations longitudinales, même si ces dernières sont de faibles amplitudes.
2. choisir la bonne poutre nous permet d'obtenir un bon actionneur, d'ailleurs c'est le but de cette étude.

Les modes vibratoires étudiés se situent en zone des hautes fréquences, ils ont été choisis de sorte à obtenir le mouvement adéquat afin de produire une quantité assez suffisante d'aire, pour l'utiliser comme refroidisseur pour composants électroniques dans des installations spécifiques (par exemple)

Mode 4.mode 6)

Les modes retenues sont :

pour la Poutre1 le Bon mode est le sixième, celui associer à la fréquence 5499 hertz

pour la Poutre2 le Bon mode est le sixième, celui associer à la fréquence 10988 hertz

Conclusion :

Les matériaux piézoélectriques font l'objet d'un grand nombre de recherches ces dernières années, que ce soit à des fins mécaniques, pour leurs éventuelles applications dans les domaines de mécanique, comme un outil de commande et de régulation, le cas du contrôle actif et d'analyse vibratoire, ou à des fins technologiques dans les domaines d'électronique comme les oscillateurs à quartz.

Dans nos recherches, nous nous sommes concentrés sur les actionneurs piézoélectriques et comment tirer parti de leurs caractéristiques, et nous avons observé comment les poutres piézoélectriques à surface électrifiée peuvent contribuer positivement et significativement au développement et à la création de modèles avec des besoins mécaniques différents. Nous avons noté la facilité et l'avantage que ces matériaux piézoélectriques se distinguent des autres matériaux. Nous avons échantillonné deux poutres identiques de tailles différentes et leur avons montré la même valeur de tension sur leur surface électrifiée et comment chacune a répondu à cette valeur. Nous avons remarqué que plus la colonne était petite, plus la réponse et la

vibration étaient importantes, et plus la valeur de la taille de la poutre était grande, plus la valeur de la réponse commençait à diminuer progressivement.

L'ensemble des résultats obtenus dans ce modeste travail consacré à l'étude des poutres piézoélectriques nous encourage à poursuivre l'analyse, en tenant compte de nouveaux paramètres qui n'ont pas été introduits comme par exemple la considération de l'effet d'une variation de la température ou la prise en compte de l'amortissement structural, la considération de nouvelles structures (les plaques et les coques), la généralisation de ce modèle pour les multicouches .

Les références :

[1] L. Hamza, étude, élaboration et caractérisation des céramiques piézoélectriques, Thèse de doctorat, Constantine (2011).

[2] Pascal DE BOE, Les éléments piézo-laminés appliqués à la dynamique des structures, Thèse de doctorat , 2003

[3] BEKKOUCHE Mohammed Nahi , BELKOU Ahmed ,Etude des propriétés piézoélectriques d'un nouveau matériau céramique : Pb1-x Smx [(Zr0.51 Ti0.49)1-x – (Fe0.53+ Nb0.55+)x]O3 , 2014/2015

[4] Y-S. Lee, "Comparison of collocation strategies of sensor and actuator for vibration control", Journal of Mechanical Science and Technology. V.25 (1) (2011) 61-68.

[5] A. Kokkinopoulos, G. Vokas and P. Papageorgas, " Energy harvesting implementing embedded piezoelectric generators – The potential for the Attiki Odos traffic grid". TerraGreen 13 International Conference 2013 - Advancements in Renewable Energy and Clean Environment. Energy Procedia 00 (2011) 000–000.

[6] I. Ecsedi "Dynamic equilibrium equations of linear piezoelectric Euler–Bernoulli beams". Mechanics Research Communications . V. 36 (2009) 175–182.

[7] Y. Xu and D. Zhou "Two-dimensional analysis of simply supported piezoelectric beams with variable thickness". Applied Mathematical Modelling . V. 35 (2011) 4458–4472.

[8] Ali Mahieddine, Effets de la piézoélectricité et de l'amortissement structural dans le cas des poutres, des coques et des plaques. Contrôle actif. 27 Avril 2011

[9] zemirline adel, contribution à l'analyse et l'étude dynamique des poutres plaques et coques en considérant les effets de l'amortissement structural de la température et de la piézoéléctricité , Blida, 2016

[10] Bouhedma Sofiane,Exemple de calcul d'une poutre piézoélectrique avec la méthode des éléments finis,2012/2013

Liens internet :

[l1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Pi%C3%A9zo%C3%A9lectricit %C3%A9#D%C3%A9couverte_de_l'effet_pi%C3%A9zo %C3%A9lectrique

[l2] https://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9orie_des_poutres

[l3] https://en.wikipedia.org/wiki/Timoshenko-Ehrenfest_beam_theory

[l4] https://en.wikipedia.org/wiki/Euler %E2%80%93Bernoulli_beam_theory

[l5] https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode_des_%C3%A9l%C3%A9ments_finis#Bibliographie

[l6] https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%86%D8%B3%D8%B3