



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد ابن باديس - مستغانم
Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم الهندسة الميكانيكية
Department of Mechanical Engineering



N° d'ordre : M...../06/2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Thème

**Etude d'instabilité des pipes coniques à fissures multiples sous
compression axiale**

Présenté par :

- ❖ Mahdjouba Benfadel
- ❖ Chahrazed Bouassassa

Soutenu le 25/06/2020 devant le jury composé de :

Président	Dr. M. Sahnoun	M.C.A. Université de Mostaganem
Examineur	Mme. A. Belhachemi	M.A.A. Université de Mostaganem
Examineur	Mr. A. Rachid	Doctorant, Université de Mostaganem
Encadreur	Pr. D.Ouinas	Université de Mostaganem

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Nous commençons par remercier le dieu le tout puissant de nous avoir donnée le courage, la volonté l'amour du savoir et surtout la patience pour pouvoir produire ce modeste travail.

Ce travail n'aurait pu aboutir sans une réelle collaboration et un échange d'idées entre tous ceux qui y ont participé ; nous tenons ici à les remercier.

Nos vifs remerciements s'adressent, en premier lieu, au **Pr. D.Ouinas** (*Université de Mostaganem*) qui a bien voulu nous encadrer. Il nous a laissé libre de choisir les directions vers lesquelles notre travail s'est orienté et la manière de l'aborder ; il a toujours su nous témoigner une grande confiance et il nous a conseillé et encouragé aux moments décisifs.

J'exprime toute nos reconnaissances à **Dr. M. Sahnoun** pour avoir bien voulu accepter de présider le jury de ce mémoire. Que **Mme A. Belhachemi, Mr A. Rachid** trouvent ici l'expression de nos vifs remerciements pour avoir bien voulu juger ce travail.

Dans l'impossibilité de citer tous les noms, nos sincères remerciements vont à tous ceux et celles, qui de près ou de loin, ont permis par leurs conseils et leurs compétences la réalisation de ce mémoire.

Nous ne pourrions terminer ces remerciements sans y associer nos collègues et nos amis.

A toutes et à tous nous leurs disons *merci*.

Résumé

Dans ce travail, nous étudions le comportement des pipe-lines coniques en présence de plusieurs fissures, sollicités à la compression uni-axiale (flambement). Ensuite nous déterminons la capacité portante en fonction des orientations des plis pour différentes longueurs et pour diverses conditions aux limites dans ce cas. Enfin, la détermination de leurs dégradations en présence des fissures de différentes tailles en prenant les mêmes paramètres précédemment utilisés, via le code ABAQUS 6.14.

Abstract

In this work, we study the behavior of conical pipe lines in the presence of several cracks, requested by uni-axial compression (buckling). Then we determine the bearing capacity according to the directions of the folds for different lengths and for various boundary conditions in this case. Finally, the determination of their degradations in the presence of cracks of different sizes using the same parameters previously used, via ABAQUS code 6.14.

ملخص

في هذا العمل، ندرس سلوك الأنابيب المخروطية في وجود العديد من الشقوق، التي تحتوي على الضغط أحادي المحور (انبعاج). ثم نحدد سعة التحمل وفقاً لاتجاهات الطيات لأطوال مختلفة وظروف الحدود المختلفة في هذه الحالة. وأخيراً، تحديد التدهور في وجود تشققات مختلفة الأحجام باستخدام نفس الإعدادات المستخدمة سابقاً، عبر ABAQUS 6.14.

Sommaire

Introduction	01
--------------------	----

Chapitre I : Revue bibliographique

I.1. Historique	03
I.2 Définition des Composites	03
I.3. Les constituants	04
I.3.1. Matrices	04
I.3.2. Renforts	04
I.4. Matériaux composites stratifiés	05
I.5. Coque mince	05
I.6. L'instabilité	06
I.7. Le flambage	07
I.8. Que fait la méthode des éléments finis	07

Chapitre II : Résultats et discussions

II.1. Modélisation par éléments finis des pipes cylindriques et coniques	09
II.2. Propriétés mécaniques du matériau du pipe	11
II.3. Test de convergence	11
II.4. Pipes cylindriques et coniques	12
II.4.1. Pipe cylindrique	12
II.4.2. Pipe conique	26
II.4.2.1. le premier cas ($R_1=200$; $R_2= r = \frac{R_1}{R_2} = \frac{3}{4} d= 150$) mm	26
II.4.2.2. le deuxième cas ($R_1=200$; $R_2= r = \frac{R_1}{R_2} = \frac{3}{5} d= 120$) mm	34
II.4.2.3. le troisième cas ($R_1=200$; $R_2= r = \frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{2} d= 100$) mm	43
Conclusion	52
Références bibliographiques	

Listes des figures

Fig. I.1. Constituant d'un matériau composite.....	03
Fig. I.2. Type de matrice.....	04
Fig. I.3. Type de renfort.....	04
Fig. I.4. Un stratifié et son plan de drapage.....	05
Fig. I.5. Flambement d'une colonne mince.....	06
Fig. I.6. Evaluation du flambement de pipe conique sous pression axiale.....	07
Fig. II.1. Pipe cylindrique.....	09
Fig. II.2. Pipe conique.....	10
Fig. II.3. Conditions aux limites pour les deux pipes cylindrique et conique.....	10
Fig. II.4. Variation de λ en fonction du nombre des éléments finis pour différents rayon.....	11
Fig. II.5. Variation du facteur de charge λ en fonction d'orientation des plis θ	12
Fig. II.6. Modèles géométriques d'un pipe cylindrique avec une fissure longitudinal.....	13
Fig. II.7. Modes de flambement d'un pipe cylindrique avec l'effet de la fissure longitudinale.....	14
Fig. II.8. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ	15
pour 06 plis	
Fig. II.9. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ	15
pour 12 plis	
Fig. II.10. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ	16
pour 24 plis	
Fig. II.11. Modèles géométriques d'un pipe cylindrique de la fissure inclinée	17
avec: $\alpha=30, 40^\circ$ et 75°	
Fig. II.12. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ	17
pour 06 plis	
Fig. II.13. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ	18
pour 12 plis	
Fig. II.14. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ	18
pour 24plis	
Fig. II.15. Modes de flambement d'un pipe cylindrique en composite orthotrope.....	20
Fig. II.16. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ	20
pour 06 plis	

Fig. II.17. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ20	20
pour 12 plis	
Fig. II.18. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ21	21
pour 24 plis	
Fig. II.19. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ21	21
pour 06 plis	
Fig. II.20. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ22	22
pour 12 plis	
Fig. II.21. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ22	22
pour 24 plis	
Fig. II.22. Modèles géométriques d'un pipe cylindrique avec une fissure transversale.....23	23
Fig. II.23. Modes de flambement d'une pipe cylindrique en composite stratifié24	24
en présence de la fissure transversale	
Fig. II.24. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ24	24
pour 06plis	
Fig. II.25. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ25	25
pour 12plis	
Fig. II.26. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ25	25
pour 24plis	
Fig. II.27. Variation du facteur de charge λ en fonction d'orientation des plis θ26	26
Fig. II.28. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ26	26
pour 06 plis	
Fig. II.29. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ27	27
pour 12 plis	
Fig. II.30. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ27	27
pour 24 plis	
Fig. II.31. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ28	28
pour 06 plis	
Fig. II.32. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ28	28
pour 12 plis	

Fig. II.33. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ	29
pour 24 plis	
Fig. II.34. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ	29
pour 06 plis	
Fig. II.35. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ	30
pour 12 plis	
Fig. II.36. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ	30
pour 24 plis	
Fig. II.37. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ	31
pour 06 plis	
Fig. II.38. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ	31
pour 12 plis	
Fig. II.39. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ	32
pour 24 plis	
Fig. II.40. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ	32
Pour 06 plis	
Fig. II.41. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ	33
pour 12 plis	
Fig. II.42. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ	33
pour 24 plis	
Fig. II.43. Variation du facteur de charge λ en fonction d'orientation des plis θ	34
Fig. II.44. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ	34
pour 06 plis	
Fig. II.45. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ	35
pour 12 plis	
Fig. II.46. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ	35
pour 24 plis	
Fig. II.47. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ	36
pour 06 plis	
Fig. II.48. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ	36
pour 12 plis	

Fig. II.49. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ	37
pour 24 plis	
Fig. II.50. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ	37
pour 06 plis	
Fig. II.51. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ	38
pour 12 plis	
Fig. II.52. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ	38
pour 24 plis	
Fig. II.53. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ	39
pour 06 plis	
Fig. II.54. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ	39
pour 12 plis	
Fig. II.55. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ	40
pour 24 plis	
Fig. II.57. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ	41
pour 12 plis	
Fig. II.58. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ	42
pour 24 plis	
Fig. II.59. Variation du facteur de charge λ en fonction d'orientation des plis θ	43
Fig. II.60. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ	43
pour 06 plis	
Fig. II.61. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ	44
pour 12 plis	
Fig. II.62. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ	44
pour 24 plis	
Fig. II.63. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ	45
pour 06 plis	
Fig. II.64. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ	45
pour 12 plis	
Fig. II.65. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ	46
pour 24 plis	

Fig. II.66. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ	46
pour 06 plis.	
Fig. II.67. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ	47
pour 12 plis	
Fig. II.68. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ	47
pour 24 plis	
Fig. II.69. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ	48
pour 06 plis	
Fig. II.70 Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ	48
pour 12 plis	
Fig. II.71. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ	49
pour 24 plis	
Fig. II.72. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ	49
pour 06 plis	
Fig. II.73. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ	50
pour 12 plis	
Fig. II.74. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ	50
pour 24 plis	

Introduction

La mécanique des structure a pour but de recherche les meilleurs formes et dimensions a données aux éléments d'unes construction, pour lui permettre de résister aux actions qui la sollicitent d'une manière aussi économique que possible. [1]

La théorie des structures minces (coques, plaques...) est utilisée dans la modélisation de nombreuses structure industrielles. On rencontre ces structures dans les domaines nucléaires, aéronautiques et aérospatiaux également pour certaines constructions mécaniques et civiles (plates- formes, pétrolières, marines, boites de conserves...). Du fait de l'importance de ces structures, des recherches sont menées depuis le début du siècle dans le but d'étudier la stabilité des coques minces sous divers types de chargement. [2]

Cependant les premières solutions analytiques sont limitées à certains types de conditions aux limites et de chargement .le développement des ordinateur et des méthodes numériques a permis de construire des logiciels en vue de résoudre le problèmes de stabilité c'est-à-dire de calculer la charge et le mode de flambage théorique avec une bonne précision et sans restriction. Toutes ces études numériques montrent l'effet important des conditions aux limites et le rôle qu'elles peuvent jouer sur la valeur et l'aspect de la charge de flambage et du mode de flambage. [3]

L'objectif principal de ce travail est de présenter une simulation numérique de l'effet de fissure sollicitée en attitude mixte. Ce travail est réalisé dans le cadre de le flambement linéaire dans des conditions de la compression axiale et conditions de limites pour un pipe conique et le cas particulier d'un pipe cylindrique.

Pour aboutir à cet objectif nous avons partagé notre travail en deux grandes parties: la première est consacrée à une étude bibliographique, la présentation de nos résultats et leurs discussions font l'objet de la deuxième partie.

Dans le premier chapitre, nous nous sommes intéressées au présentation de la définition des matériaux composites et leurs constituants, ainsi en défini les caractéristiques géométriques d'une coque mince plus l'instabilité des éléments structurel ainsi leur phénomène (le flambage) on clôture par la méthode des éléments finis.

Enfin, nous envisageons comme perspective de ce travail d'effectuer par deux parties il est consacré à la présentation et la discussion des résultats. Nous retenons donc qu'agir sur la première partie caractérise l'outil de simulation, le modèle numérique utilisé et les conditions aux limites, la deuxième partie c'est l'étude de comportement de flambage et l'influence des fissures simples sur les pipes cylindrique et conique.

Cette étude est achevée par une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus et donne quelque perspective à cette étude.

Chapitre I

Revue bibliographique

I. Revue bibliographique

I.1. Historique

Le bois fut le premier matériau composite naturel utilisé. Plus tard, le torchis a été utilisé en construction pour ses propriétés d'isolation et son faible coût. Parmi les premiers composites fabriqués par l'Homme, on trouve également les arcs mongols (2 000 ans av. J.-C.) ; leur âme en bois était contre collée de tendon au dos et de corne sur sa face interne.

- 1823 : Charles Macintosh crée l'imperméable avec du caoutchouc sur des tissus comme le coton.
- 1892 : François Hennebique dépose le brevet du béton armé (le composite utilisé en construction) avec le béton qui forme la matrice et l'acier qui forme le renfort [4].

I.2. Définition des Composites

Un matériau composite est, par définition, tout alliage ou matière première comportant un renfort sous forme filamentaire. Il nécessite l'association intime d'au moins deux composants : le renfort et la matrice, qui doivent être compatibles entre eux et se solidariser, ce qui introduit la notion d'un agent de liaison, l'interface Figure I.1. Contrairement aux matières premières classiques dont on connaît à l'avance les caractéristiques mécaniques, celles des composites ne sont réellement connues qu'après fabrication, car on réalise, en même temps, le matériau et le produit [4].

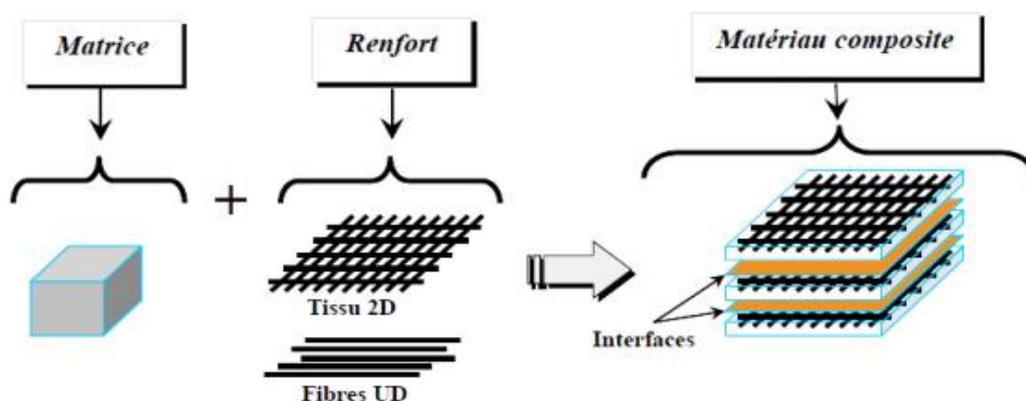


Figure I.1. Constituant d'un matériau composite [5].

I.3. Les constituants

Généralement les constituants principaux d'un matériau composite sont :

I.3.1. Matrices

Dans un grand nombre de cas, la matrice constituant le matériau composite est une résine polymère. Les résines polymères existent en grand nombre et chacune à un domaine particulier d'utilisation. Dans les applications où une tenue de la structure aux très hautes températures est requise, des matériaux composites à matrice métallique, céramique ou carbone sont utilisés. Dans le cas des matériaux en carbone des températures de 2200°C peuvent être atteintes. La classification des types de matrices couramment rencontrées est donnée sur la Figure I.2 [6].

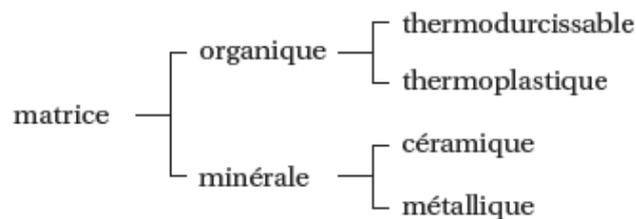


Figure I.2. Type de matrice [6].

I.3.2. Renforts

Les renforts assurent les propriétés mécaniques du matériau composite et un grand nombre de fibres sont disponibles sur le marché en fonction des coûts de revient recherchés pour la structure réalisée. Les renforts constitués de fibres se présentent sous les formes suivantes : linéique (fils, mèches), tissus surfaciques (tissus, mats), multidirectionnelle (tresse, tissus complexes, tissage tri directionnel ou plus). La classification des types de renforts couramment rencontrés est indiquée sur la Figure I.3.

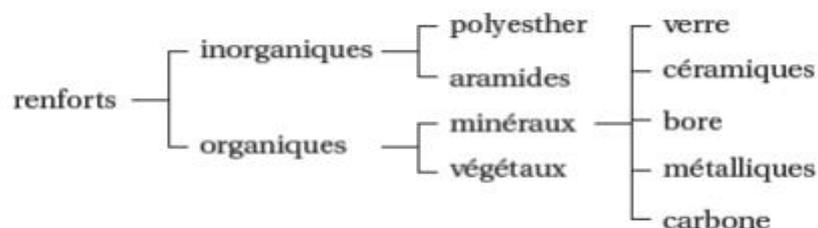


Figure I.3. Type de renfort [6]

I.4. Matériaux composites stratifiés

Dans le cadre de nos travaux, nous nous sommes particulièrement intéressés aux matériaux composites stratifiés. Un stratifié est un empilement de plusieurs plis unidirectionnels comme le montre la Figure (I.4). Dans chaque pli, les fibres de carbone sont orientées dans la même direction. Pour assurer les propriétés mécaniques, l'orientation des fibres peut être différente entre les plis voisins. Le diamètre d'une fibre est de l'ordre de quelque micron (μm), l'épaisseur d'un pli est quelque dixième de millimètres et la taille de la pièce varie de quelque centimètre à plusieurs mètres [7].

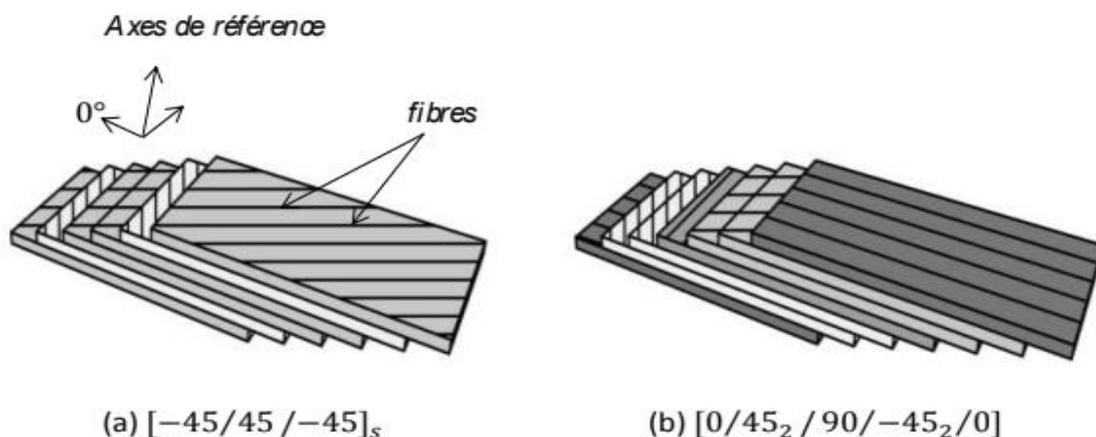


Figure I.4. Un stratifié et son plan de drapage [7].

I.5. Coque mince

Une coque est une structure occupant un domaine d'épaisseur t autour d'une surface S , dite surface moyenne. Lorsque cette épaisseur est très petite devant les deux autres dimensions de la surface, on parle de coque mince.

Cette caractéristique géométrique permet d'un point de vue mécanique de ramener le problème tridimensionnel de la détermination des déformations d'un milieu continu à un problème bidimensionnel, dans lequel la détermination du champ de déplacement \mathbf{U} de la surface moyenne suffit à décrire correctement le comportement de la structure [6].

Les pipes sont un type de structures minces qui répondent à ces demandes et qui sont très employées dans des secteurs d'activités très divers ; on les retrouve sous forme de conserves ou conditionnement de boissons dans l'agro-alimentaire, de silos de stockage ou d'aéro-

réfrigérant en génie civil, de fuselage d'avion, de sous-marins dans l'aéronautique, et aussi de fuselage et réservoirs à carburant dans le domaine spatial [8].

I.6. L'instabilité

En considérant le comportement des éléments de structure sous charge, nous avons été soucieux par leur capacité à résister à différentes formes de stress. Leur force, a donc dépendu des propriétés de résistance du matériau à partir duquel ils sont fabriqués. Cependant, les éléments de structure soumis à une compression axiale les charges peuvent défaille d'une manière qui dépend de leurs propriétés géométriques plutôt que leurs propriétés matérielles. Il est courant de constater, par exemple, qu'une longue un élément structurel tel que celui illustré à la Figure I.5 (a) va soudainement s'incliner avec déplacements latéraux soumis à une charge de compression axiale Figure I.5 (b).

Ce phénomène est connu sous le nom d'instabilité et on dit que le député croule. Si le membre est exceptionnellement long et mince, il peut retrouver sa forme droite initiale lorsque la charge est supprimée.

Il ressort que la conception des éléments de compression doit tenir compte non seulement de la résistance matérielle du membre, mais aussi de sa stabilité contre le flambage. De toute évidence, plus un élément est court par rapport à ses dimensions transversales, plus il est probable que la défaillance sera une défaillance dans compression du matériau plutôt qu'une par instabilité. Il s'ensuit que dans certains un échec de gamme intermédiaire sera une combinaison des deux [9]

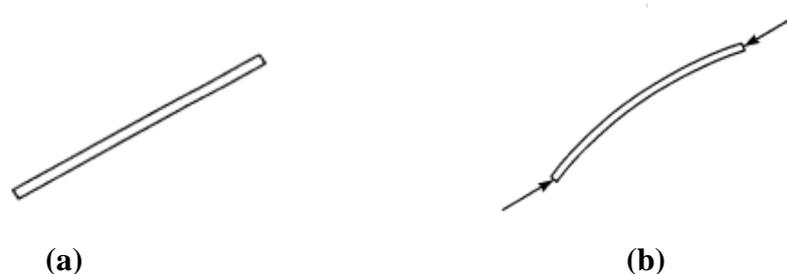


Figure I.5. Flambement d'une colonne mince.

I.7. Le flambage

Le phénomène du flambement est souvent associé à l'effort de compression et il constitue un des critères de dimensionnement des poteaux, des colonnes et des barres comprimées. D'autres types de structures associés à d'autres types de sollicitations sont sujets à l'instabilité de flambement : flambement latéral ou déversement des poutres longues, hautes et minces sollicitées par une force de flexion ; flambement ou cloquage des plaques sollicitées par des efforts dans leur plan ; flambement des coques ou cylindres minces en compression ou en torsion [10].

Il peut tout particulièrement être observé pour des structures minces élancées (faible raideur de flexion) soumises à des contraintes de compression, au-delà d'une certaine valeur, la charge appliquée conduit à un important changement de forme de la structure qui se traduit par l'apparition brutale ou progressive de plis ou d'ondulation. Ce changement de configuration, lié aux effets des non linéaires géométrique, peut s'accompagner ou non de plasticité [11].



Figure I.6. Évaluation du flambement de pipe conique sous pression axiale.

I.8. Que fait la méthode des éléments finis ?

La simulation numérique peut nous apporter une aide précieuse dans la conception et la réalisation des pièces en matériaux composite.

Le calcul d'une structure par la méthode des éléments finis (MEF) exige, pour être efficace, d'accorder le plus grand soin à la phase de modélisation de nombreuses classes de problèmes indépendamment de la géométrie, des conditions aux limites et du chargement.

Donc, la MEF permet d'obtenir une solution numérique approximative sur un corps, une structure ou domaine (milieu continu) sur lequel certaines équations différentielles sont définies dans forme faible ou intégrale qui caractérise le comportement physique du problème, le divisant dans un grand nombre de sous-domaines non entrecroisés appelés «éléments finis ». L'ensemble des éléments finis forme une partition de domaine également appelée discrétisation [12].

Aussi, il est recommandé la précision des résultats dépend de la qualité du modèle et du maillage réalisé.

Chapitre II

Résultats et discussions

II. Résultats et discussions

II.1. Modélisation par éléments finis des pipes cylindriques et coniques:

Les modèles des éléments finis de pipes cylindriques ainsi que coniques ont été résolus numériquement à l'aide du code ABAQUS 6.14 qui permet la création du modèle géométrique des pipes cylindriques et coniques de longueur $L=2\text{m}$, de rayon $R=0,2\text{m}$ et de diverses épaisseurs « t » ont été créées.

Les éléments de type pipe à huit nœuds (S8R) avec une intégration réduite et des fonctions de forme quadratique ont été utilisées pour le maillage. Les pipes cylindriques de la région non fissurée ont été maillés en 16000 éléments et pour les pipes coniques en 11000 éléments. Les nombres de mailles sont obtenus via les tests de convergence.

Les structures utilisées pour l'analyse sont illustrées sur la fig. II.1. Selon cette dernière, le paramètre L caractérise la longueur des pipes cylindriques et coniques, et le paramètre R correspond au rayon du pipe cylindrique. Egalement R_1 signifie le rayon supérieur du pipe conique et R_2 le rayon inférieur selon la fig. II.2. Les spécimens ont été modélisés par des rayons des pipes coniques respectivement 100mm, 120mm, 150mm.

L'épaisseur du pli du composite est 0,125 mm. Les pipes traités tiennent en compte trois différentes épaisseurs, correspondant aux nombres de plis de 06, 12 et 24 avec des empilements du stratifié $[\theta / -\theta]$ symétrique et antisymétrique autour de l'axe médian. Les pipes cylindriques et coniques ont été modélisées en état élastique orthotrope. En appliquant une force de compression $F=1\text{N}$ au point de référence du déplacement axial libre du pipe. En ce qui concerne les conditions aux limites, l'extrémité inférieure est encastree au point de référence, quant à l'autre extrémité, elle est soumise à la force de compression axiale, voir la figure 2.

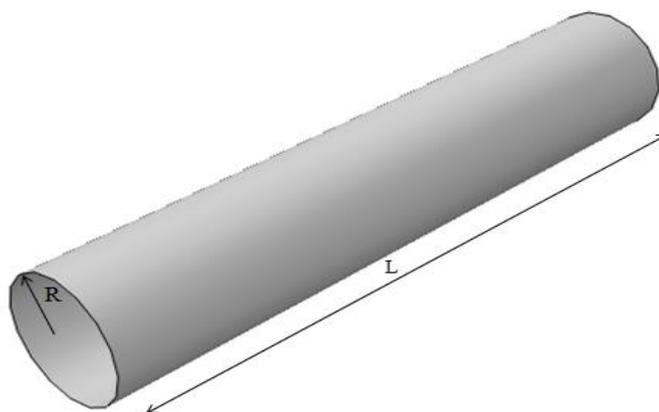


Fig. II.1. Pipe cylindrique

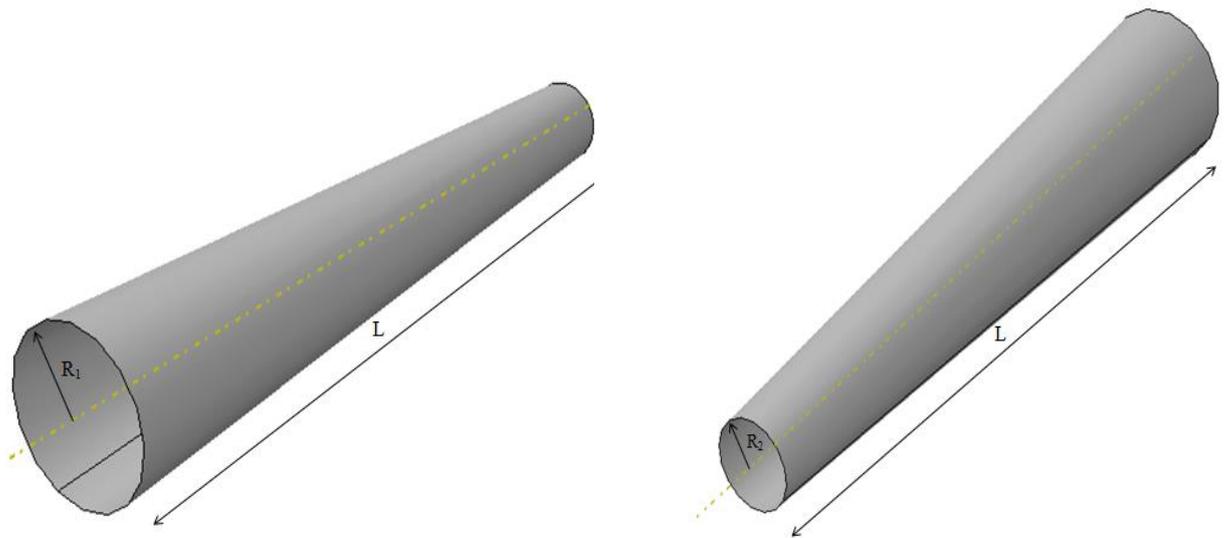
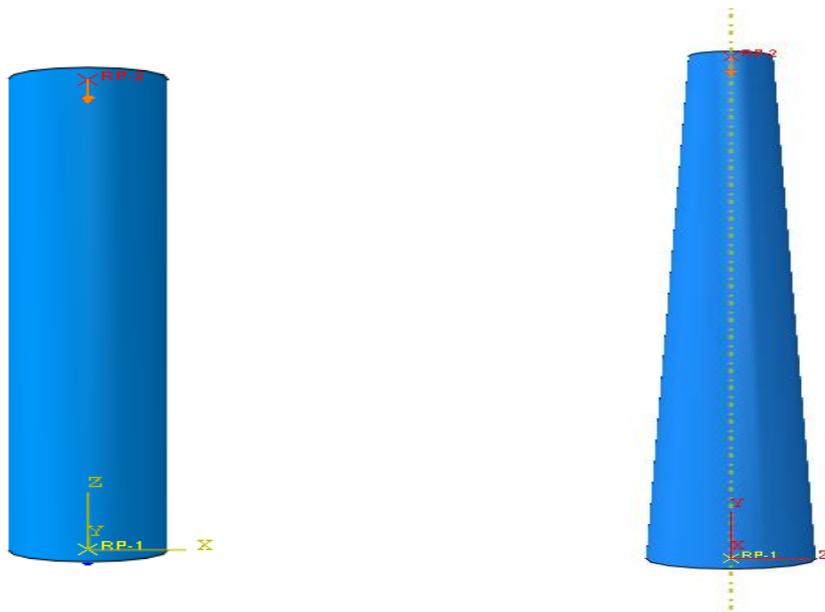


Fig. II.2. Pipe conique.



Cas 1 : La partie inférieure du pipe cylindrique est encastrée, quant à la partie supérieure, seul le déplacement suivant z est libre.

Cas 2 : Mêmes conditions prises dans le cas 1, seul le déplacement suivant y est libre.

Fig. II.3. Conditions aux limites pour les deux pipes cylindrique et conique.

II.2. Propriétés mécaniques du matériau du pipe

Le matériau utilisé est un matériau élastique orthotrope, il a des propriétés mécaniques qui sont regroupé dans le tableau ci-dessous :

Matériau	E_{11} (KN/mm ²)	E_{22} (KN/mm ²)	G_{12}, G_{13} (KN/mm ²)	G_{23} (KN/mm ²)	ν
Elasticité orthotrope	135	13	6.4	4.3	0.38

Tableau II.1. Propriétés mécaniques du matériau composite [13].

II.3. Test de convergence

Pour confirmer que les résultats obtenus sont correctes nous avons réalisé un test de convergence pour préciser le nombre des éléments que nous allons utiliser dans les essais de simulation. Après l'étude de la variation du facteur de charge λ en fonction du nombre d'éléments pour les quatre cas du pipe conique de rayon $R=100\text{mm}$, 120mm et 150mm , et également le cas particulier d'un pipe cylindrique de $R=200\text{mm}$. Nous avons obtenu les résultats illustrés dans les figures ci-dessus.

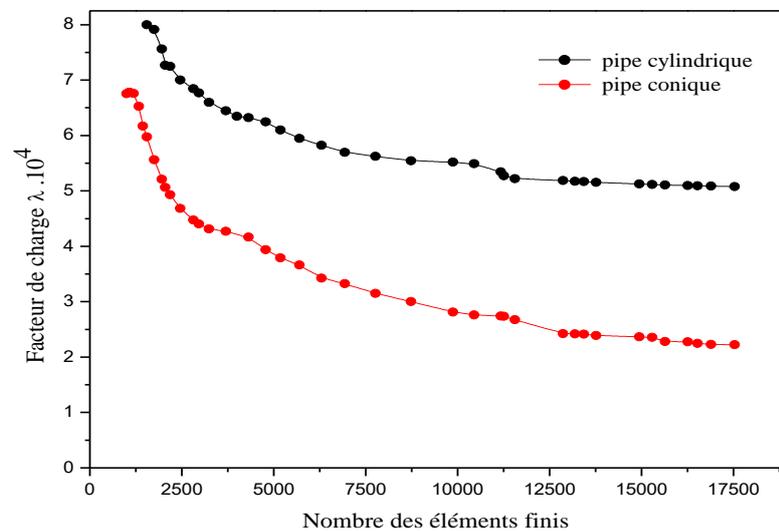


Fig. II.4. Variation de λ en fonction du nombre des éléments finis pour différents rayons.

Il est à signaler que le facteur de charge décroît fortement avec l'accroissement du nombre des éléments finis jusqu'à 10000 éléments. Au-delà, la variation est faible.

II.4. Pipes cylindriques et coniques

II.4.1. Pipe cylindrique

II.4.1.1. Effet de l'angle d'orientation des fibres pour des pipes non fissurés

Nous avons débuté par l'étude de l'effet de l'angle d'orientation des plis des pipes à différentes épaisseurs 06 plis, 12 plis et 24 plis pour les deux cas, symétrique (A) et antisymétrique (B), après simulation nous avons obtenu les résultats présentés ci-dessous :

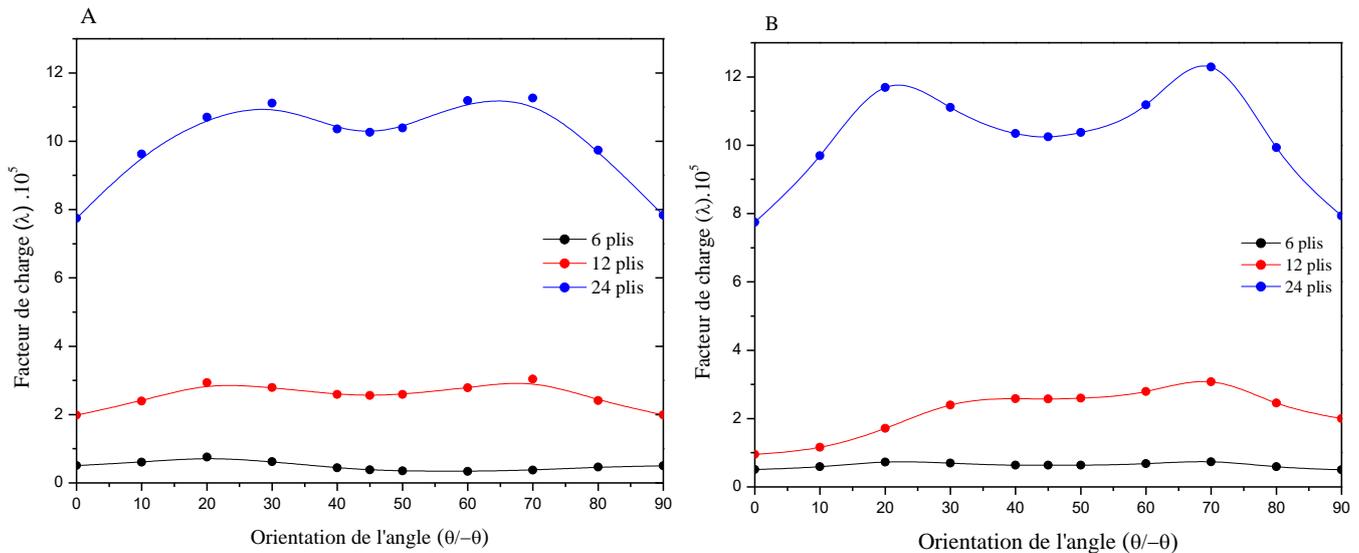


Fig. II.5. Variation du facteur de charge λ en fonction d'orientation des plis θ

La figure II.5 montre l'évolution du facteur de charge λ en fonction de l'angle d'orientation des plis [06, 12, 24] d'un pipe circulaire de rayon $R=200$ mm. Il est à constater que les plis du pipe est significatif pour les deux cas symétrique et antisymétrique, et l'allure du facteur λ n'est pas identique. Pour des faibles nombres de plis, le facteur de charge est quasiment constant, surtout pour le cas particulier de 12 plis symétrique, par contre, deux pics sont à noter pour le cas le plus élevé du nombre de plis, à 20° et 70° . Dans ces cas la résistance au flambage est meilleure.

Dans la plage de $[20^\circ-70^\circ]$, la résistance du pipe à 12 couches, oscille sur le palier de charge incurvé autour de la charge critique de $12 \cdot 10^5$ N.

II.4.1.2. Influence de la fissure longitudinale

Nous avons représenté sur les figures ci-dessous le modèle géométrique de la fissure parallèle à l'axe de révolution (fig. II.6) et les différents modes de 1 à 10 pour un pipe cylindrique en présence de fissure longitudinale, pour clarifier le changement mécanique d'une fissure en dix modes (fig. II.7).

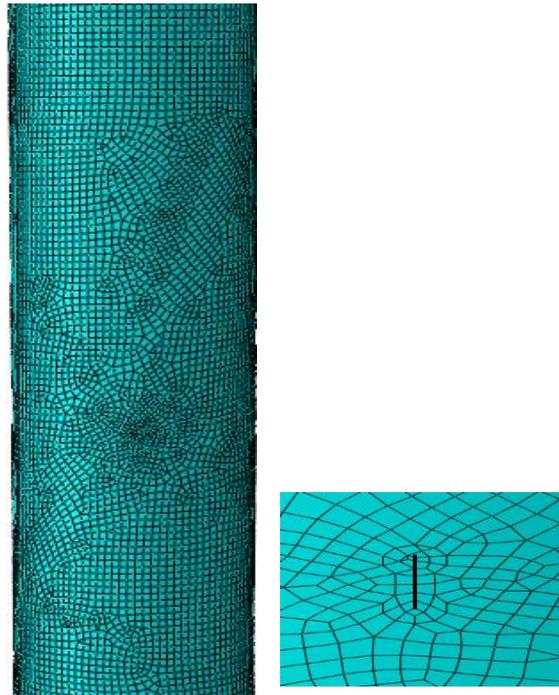
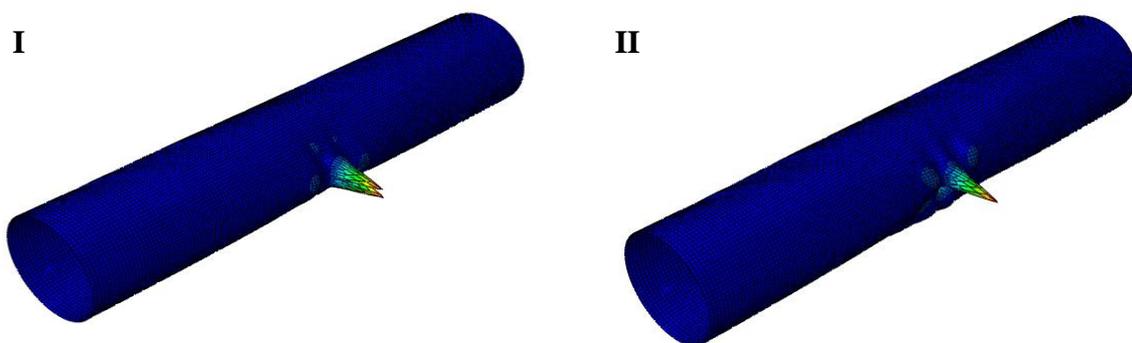


Fig. II.6. Modèles géométriques d'un pipe cylindrique avec une fissure longitudinale.



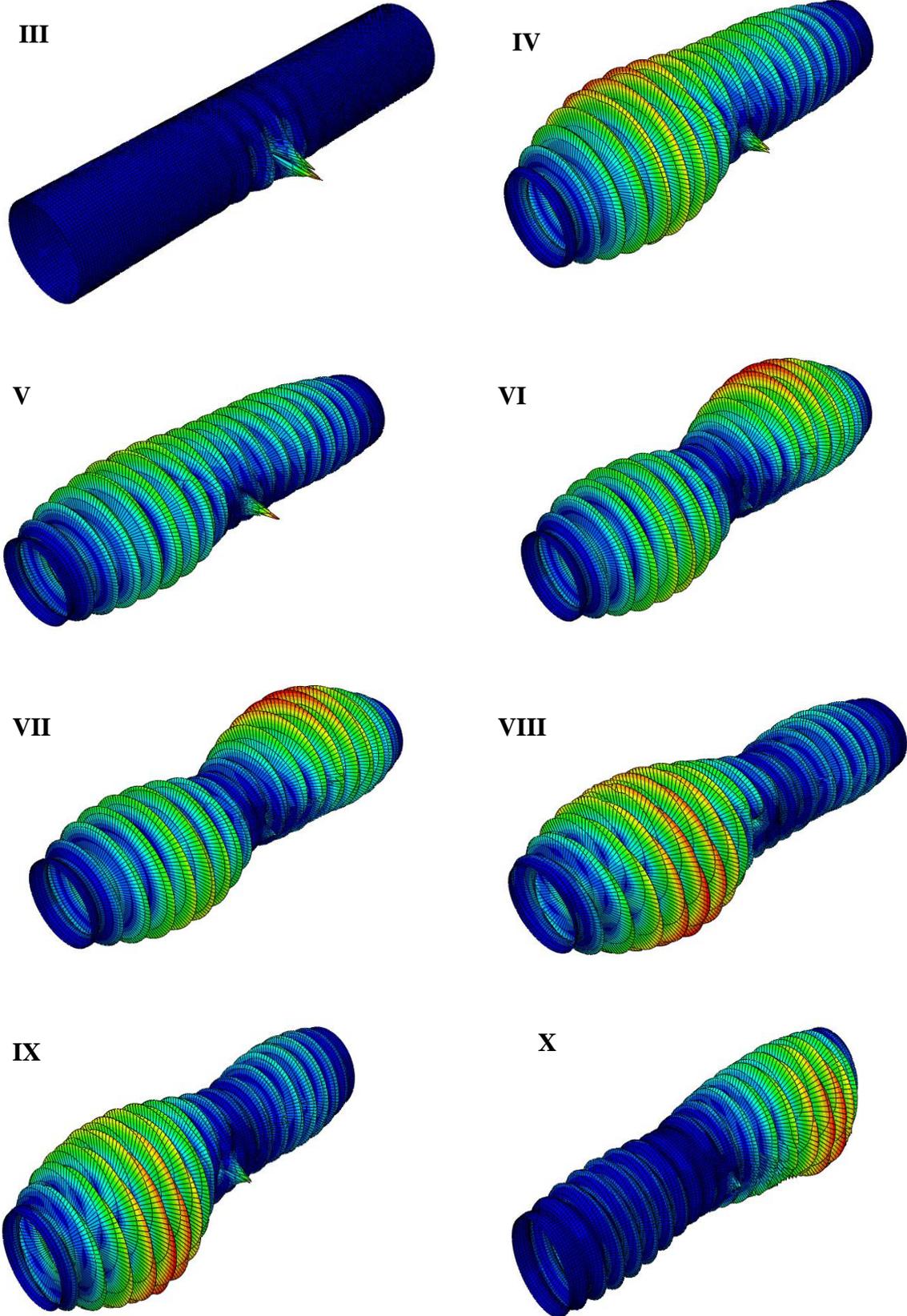


Fig. II.7. Modes de flambement d'un pipe cylindrique en composite orthotrope avec l'effet de la fissure longitudinale.

Nous avons étudié l'influence de la fissure sur la variation de coefficient de flambement du pipe en fonction de l'angle d'orientation des plis pour différents cas symétrique (A) et antisymétrique (B) de 06 plis, 12 plis et 24 plis en tenant en compte les paramètres suivants : taille de fissure $a = [2, 4, 8, 16, 24, 32, 40, 50, 60, 80, 100]$ mm, le rayon $R=200$ mm et de longueur $L=2m$. Les résultats obtenus sont illustrés sur les figures qui viennent ci-après :

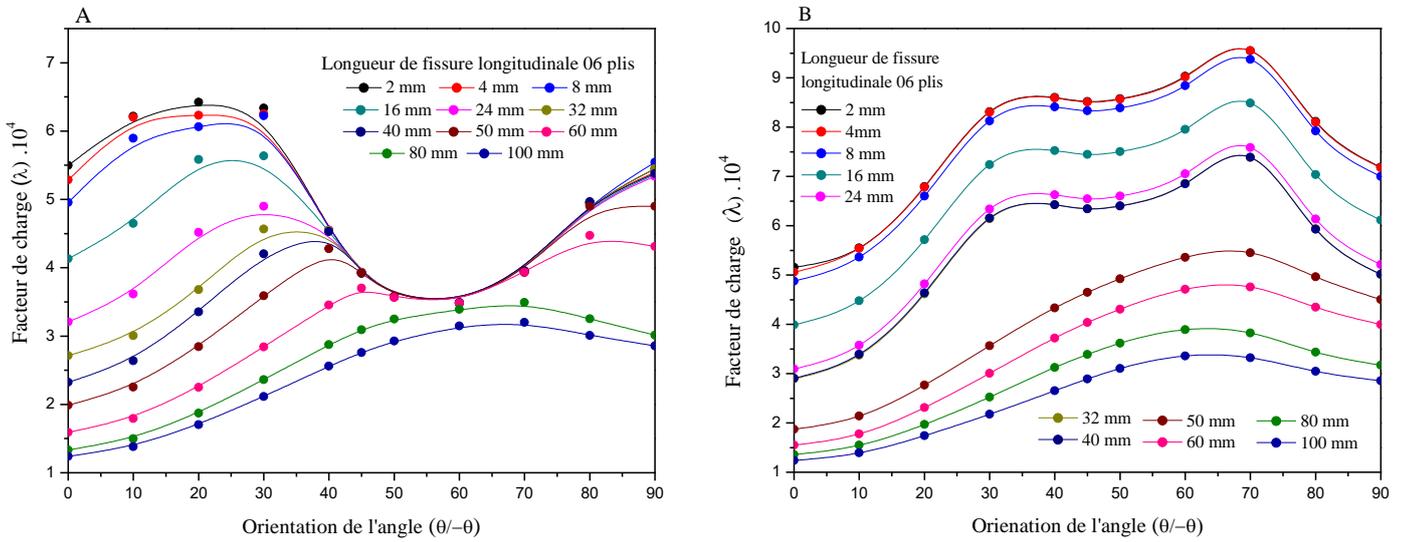


Fig. II.8. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

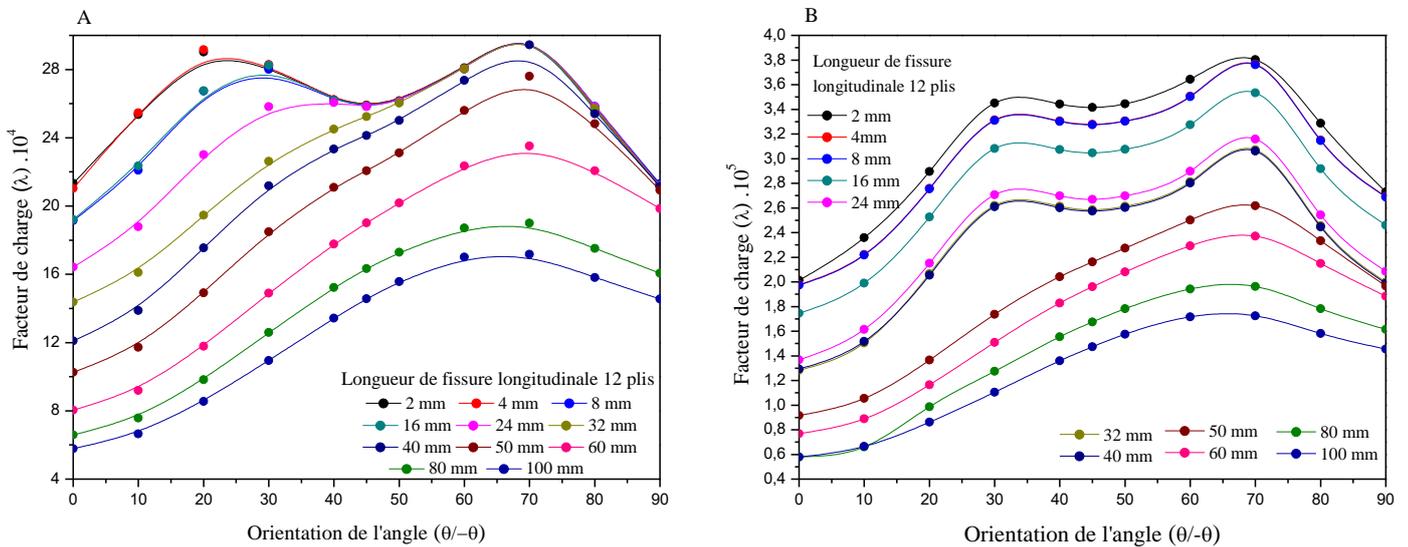


Fig. II.9. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

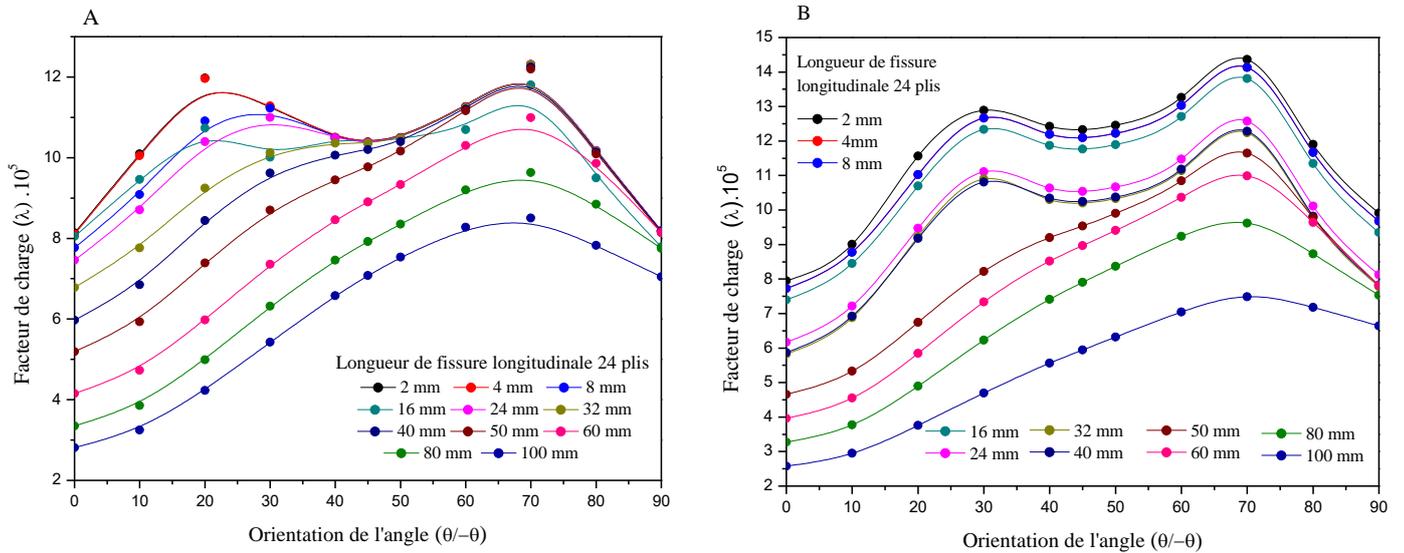


Fig. II.10. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Sur les figures II. (8,9 et10) on montre l'effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction de l'angle des plis θ avec A) une orientation de fibres symétrique et B) orientation de fibres antisymétriques. Les angles d'orientations des plis sont (0° , 10° , 20° , 30° , 40° , 45° , 50° , 60° , 70° , 80° et 90°). Il est à noter que l'allure de facteur de charge augmente exponentiellement avec la réduction de la taille de la fissure par rapport au rayon du pipe.

On constate que λ prend la valeur maximale pour une taille de fissure petite avec de l'angle de l'orientation atteint la limite de $\theta = 70^\circ$ qui représente une meilleure résistance dans le cas symétrique et antisymétrique pour [12 et 24] plis hormis le cas de 06 plis symétrique, on a une bonne résistance à $\theta=20^\circ$ et la plage des orientations de fibres 50° , 60° , et 70° il y'a une stabilité pour toutes les longueurs sauf les tailles $a=100\text{mm}$ et 80mm . Et le cas antisymétrie de 06 plis garde les mêmes conditions que 12 et 24 plis.

II.4.1.3. Influence de la fissure inclinée avec $\alpha=30^\circ$, 45° et 75°

Nous avons illustré le cas du pipe cylindrique contenant une fissure inclinée de $\alpha=30^\circ$, 45° et 75° pour montrer les effets du défaut incliné avec des orientations des fibres symétrique (A) et antisymétrique (B).

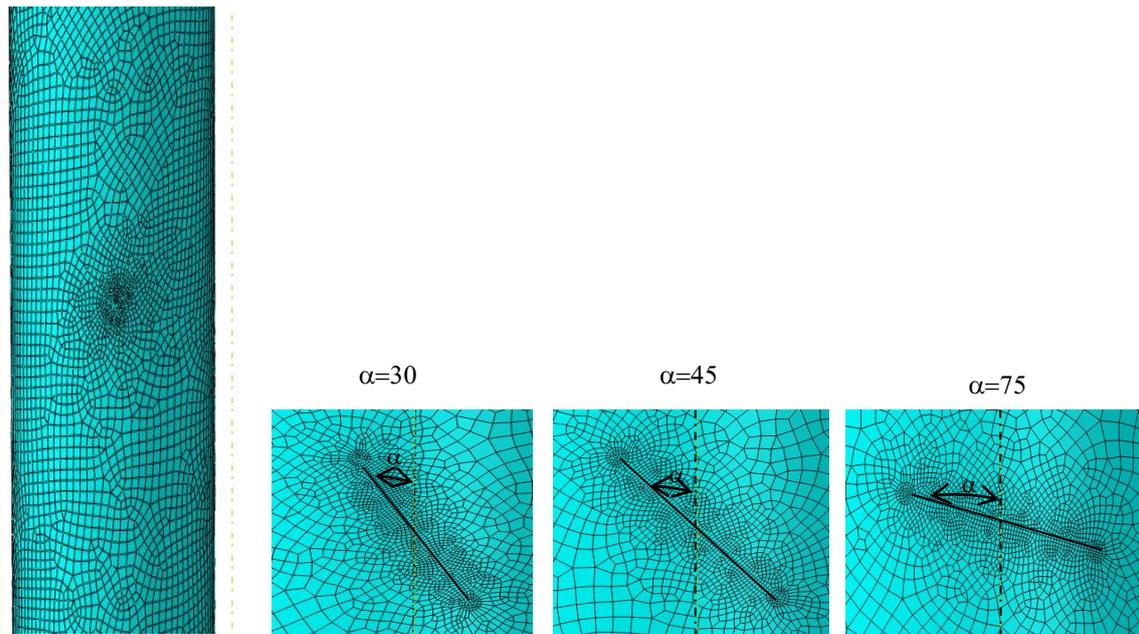


Fig. II.11. Modèles géométriques d'un pipe cylindrique de la fissure inclinée avec: $\alpha=30, 40^\circ$ et 75°

II.4.1.3.1. Influence de la fissure inclinée $\alpha=30^\circ$

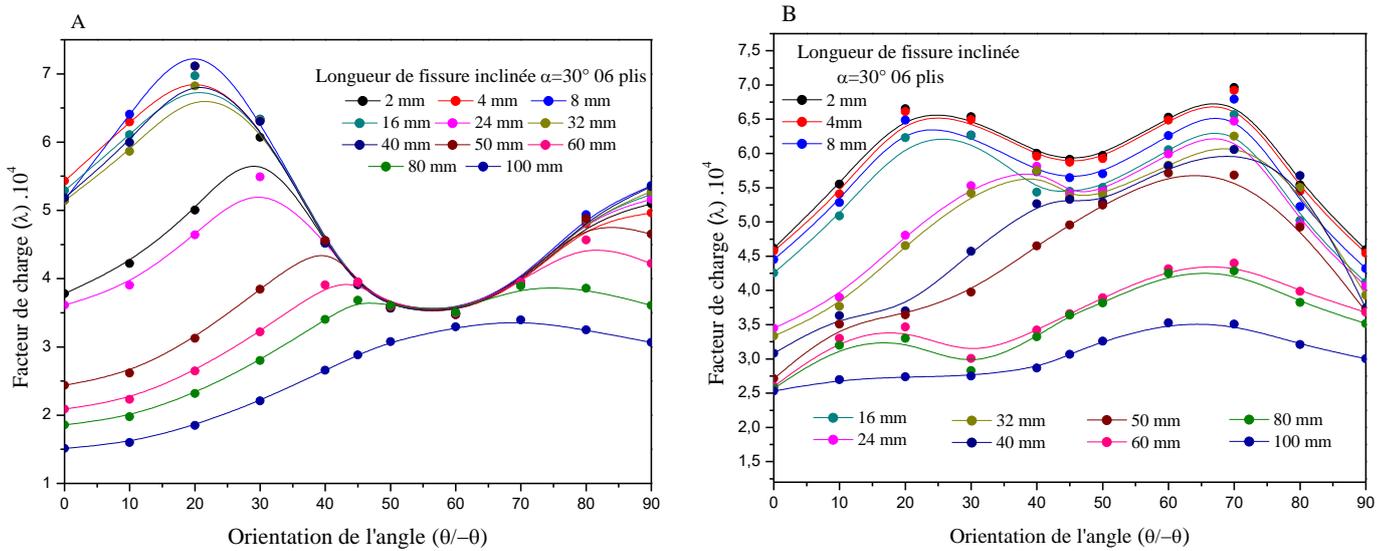


Fig. II.12. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

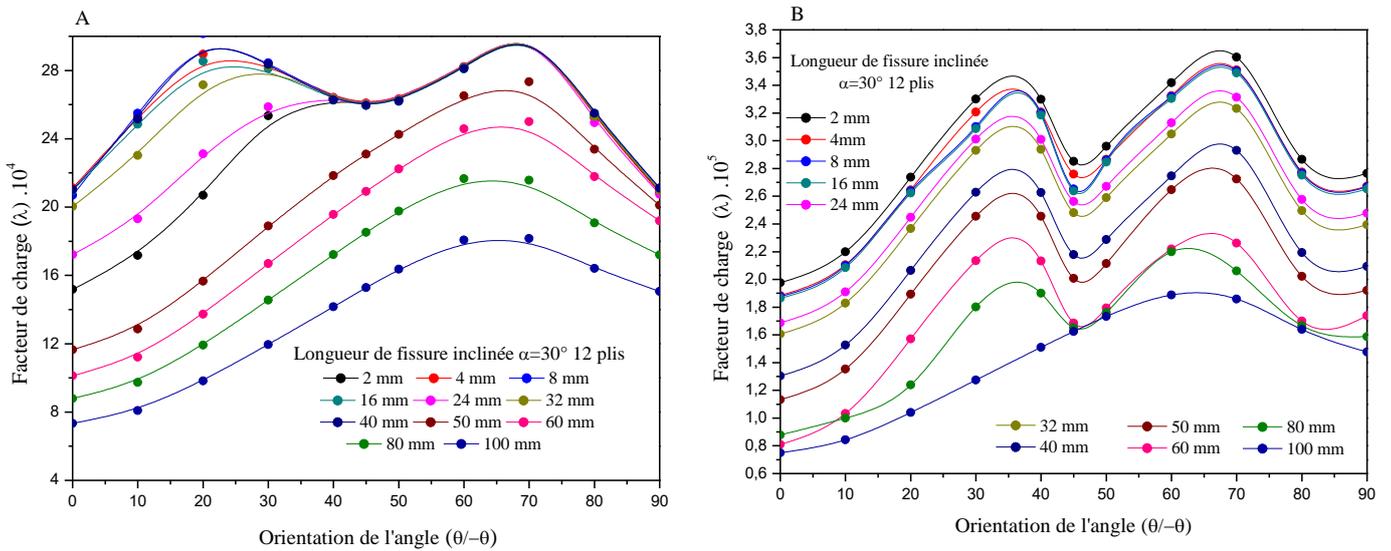


Fig. II.13. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

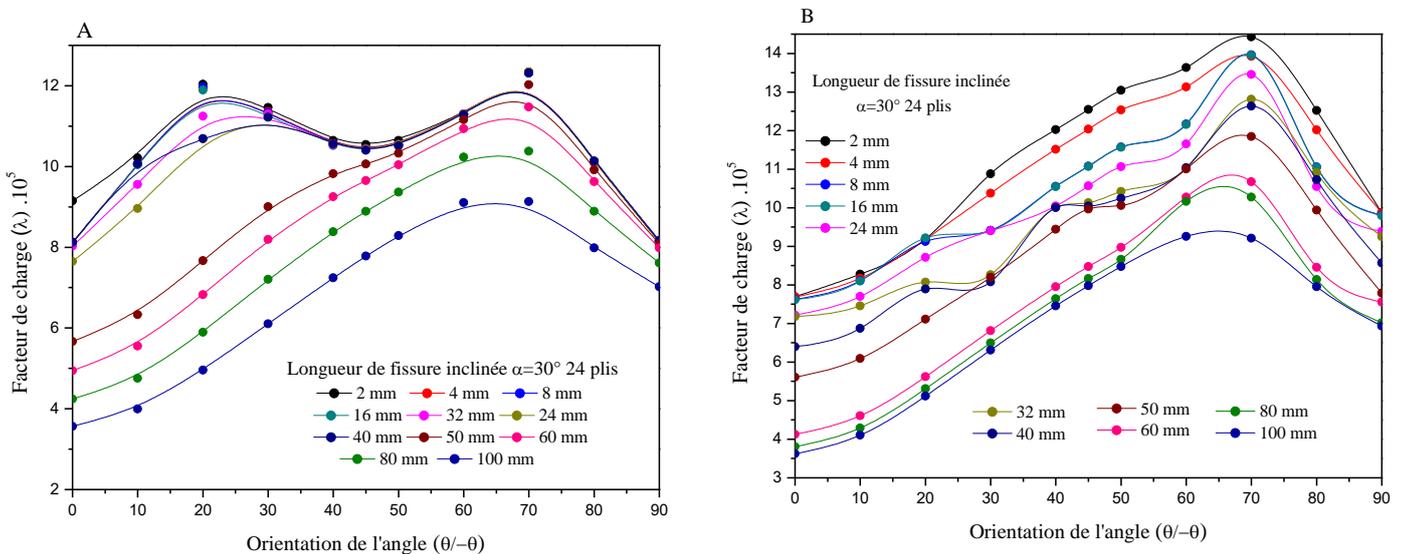


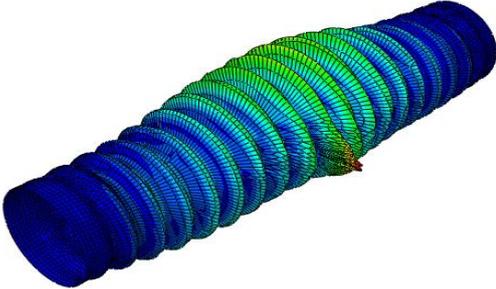
Fig. II.14. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Pour illustrer l'effet de la longueur de la fissure inclinée sur le comportement au flambement du pipe, nous avons tracé la variation du facteur de charge en fonction de l'orientation des plis pour différentes tailles de la fissure. Il est clair que pour des faibles longueurs du défaut linéaire, deux pics de résistance sont à noter, à 20° et à 70° pour les deux cas de configuration, symétrique et asymétrique. En augmentant le nombre de plis, les pics ont tendance à disparaître. En plus la résistance est meilleure dans le cas asymétrique.

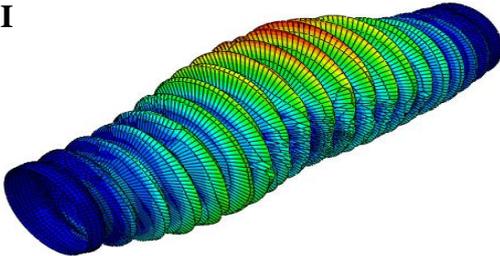
Du moment que le pipe est sollicité à la compression axiale le bon drapage est mieux obtenue à $\theta=20^\circ$ pour 06 plis et 70° pour un grand nombre de plis pour le cas asymétrique (24 plis), alors qu'en réalité le pipe est sollicité à une pression interne qui nous oblige à tenir en compte à d'autres effets.

II.4.1.3.2. Influence de la fissure inclinée $\alpha=45^\circ$

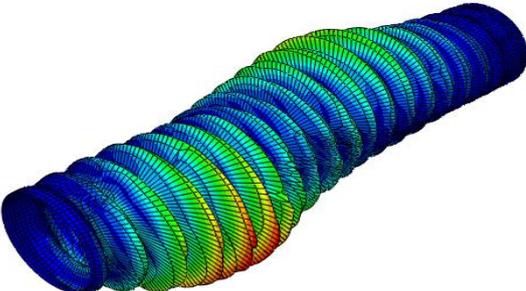
I



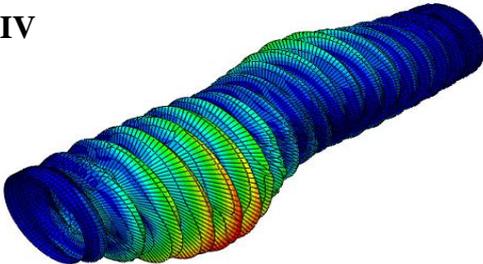
II



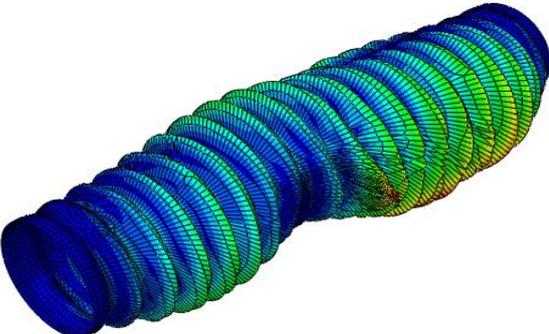
III



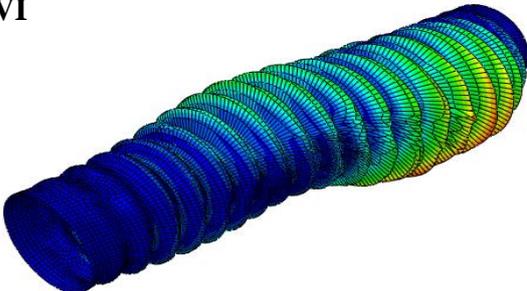
IV



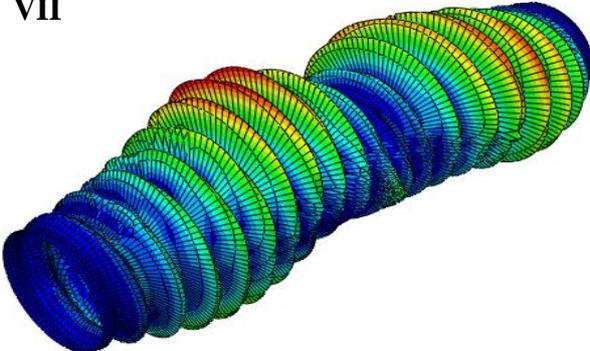
V



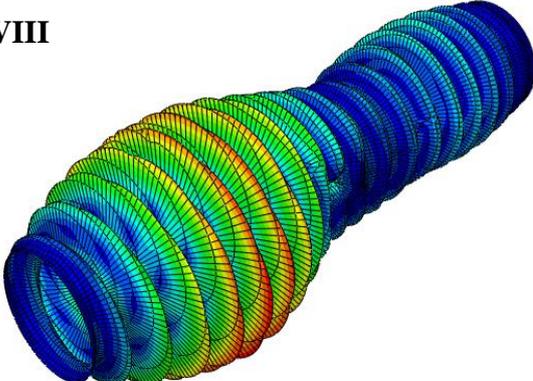
VI



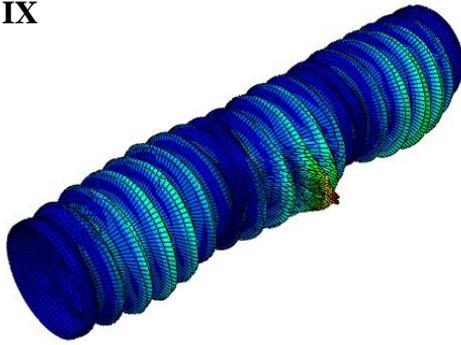
VII



VIII



IX



X

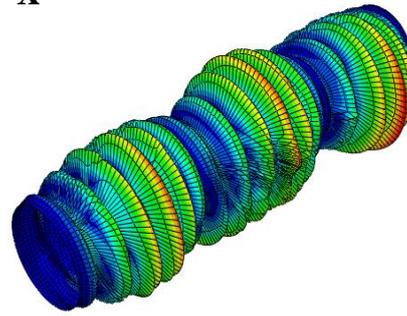


Fig. II.15. Modes de flambement d'un pipe cylindrique en composite orthotrope

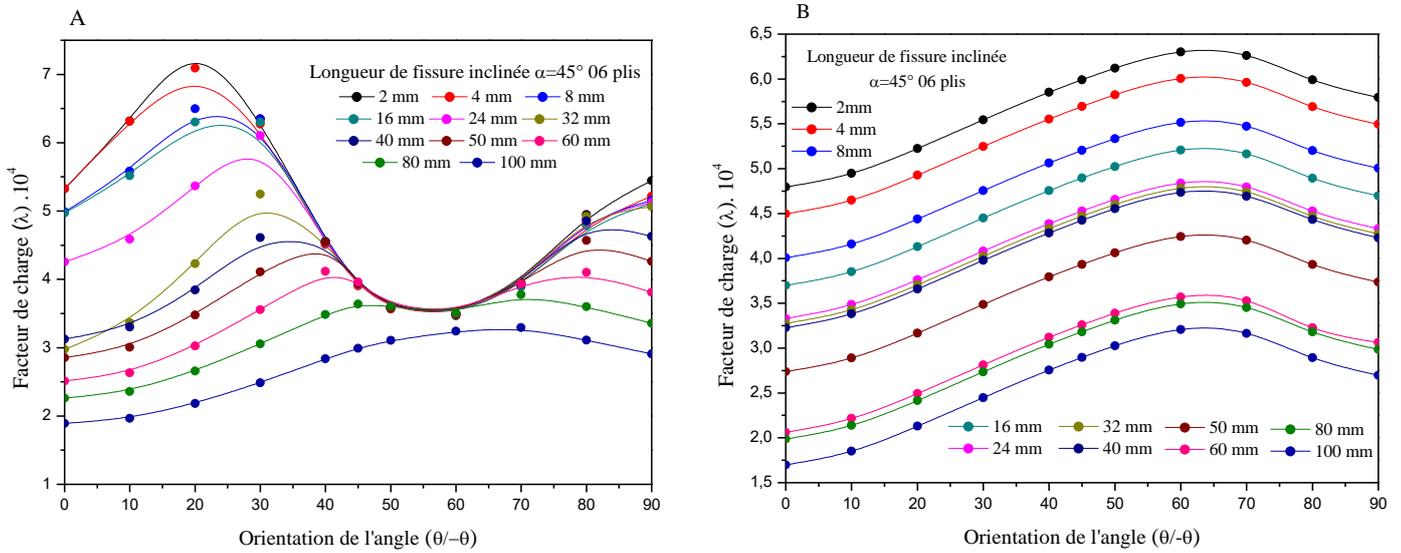


Fig. II.16. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

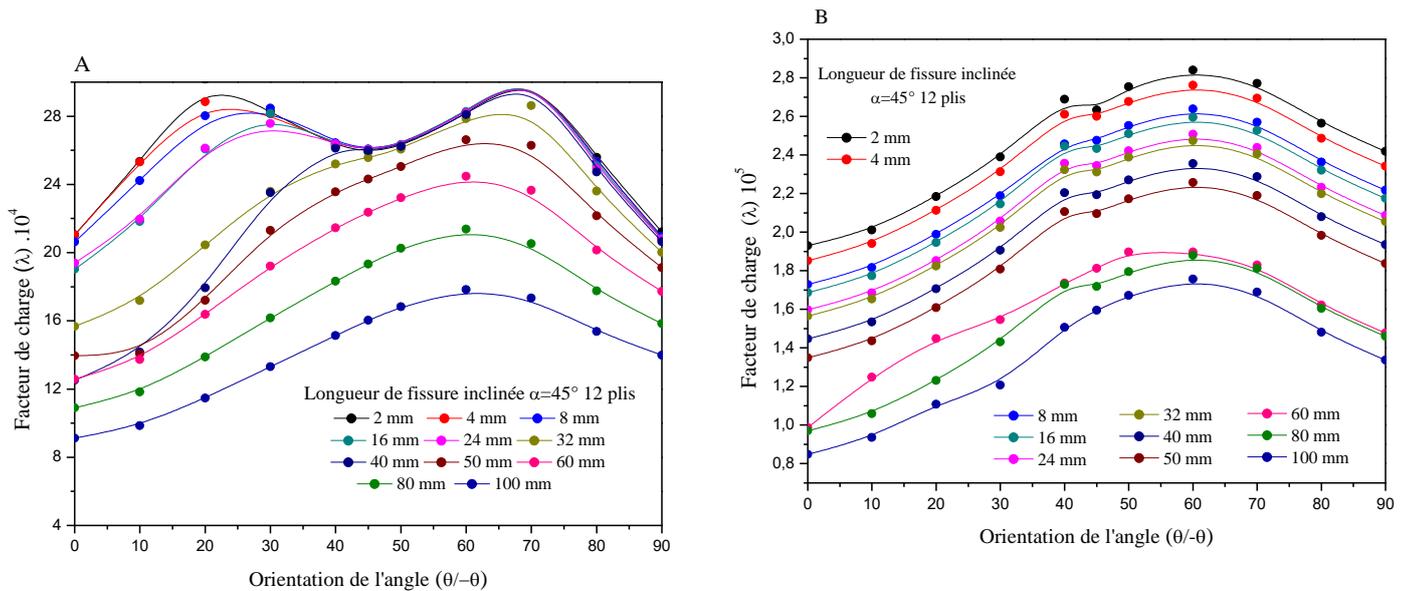


Fig. II.17. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

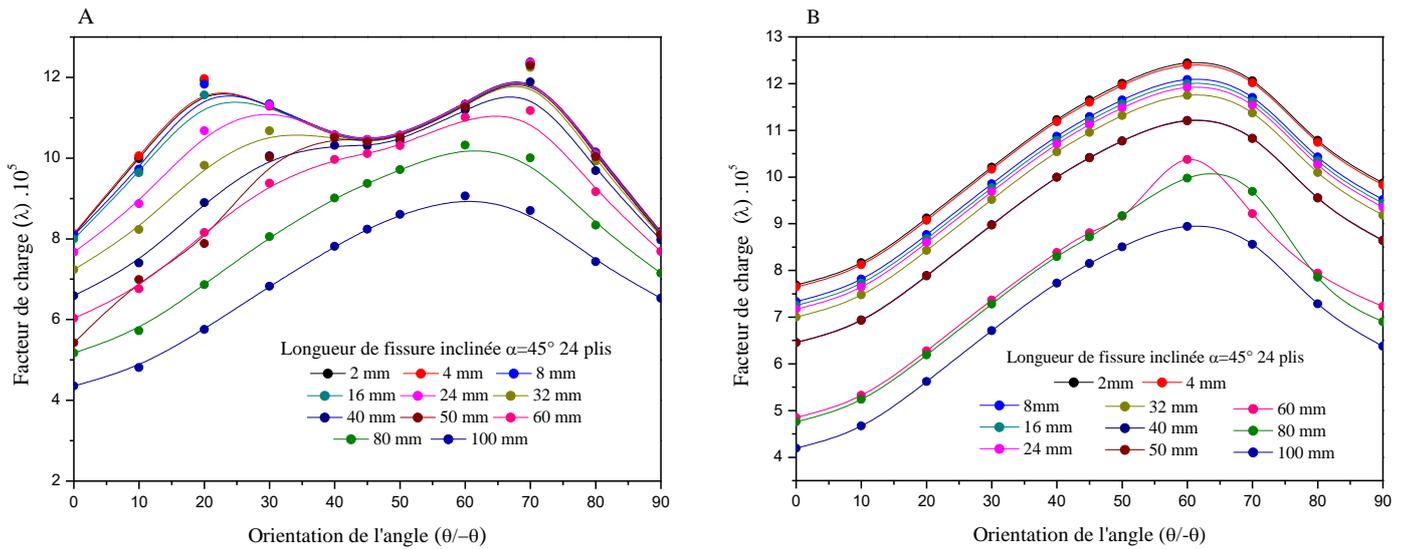


Fig. II.18. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

II.4.1.3.3. Influence de la fissure inclinée $\alpha=75^\circ$

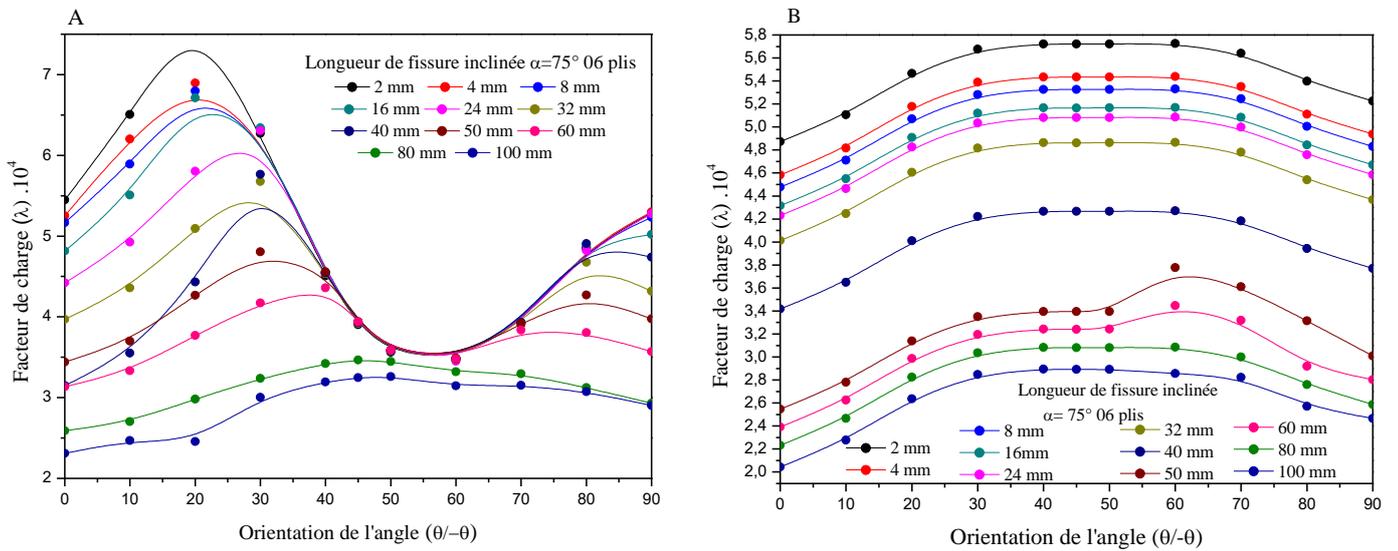


Fig. II.19. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

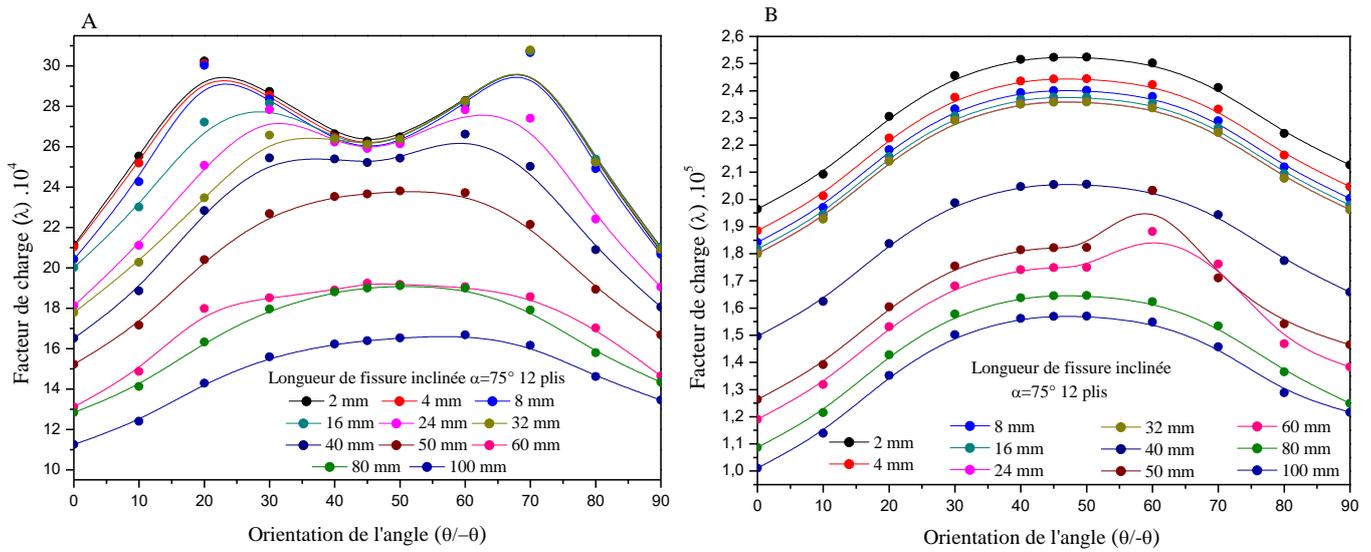


Fig. II.20. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

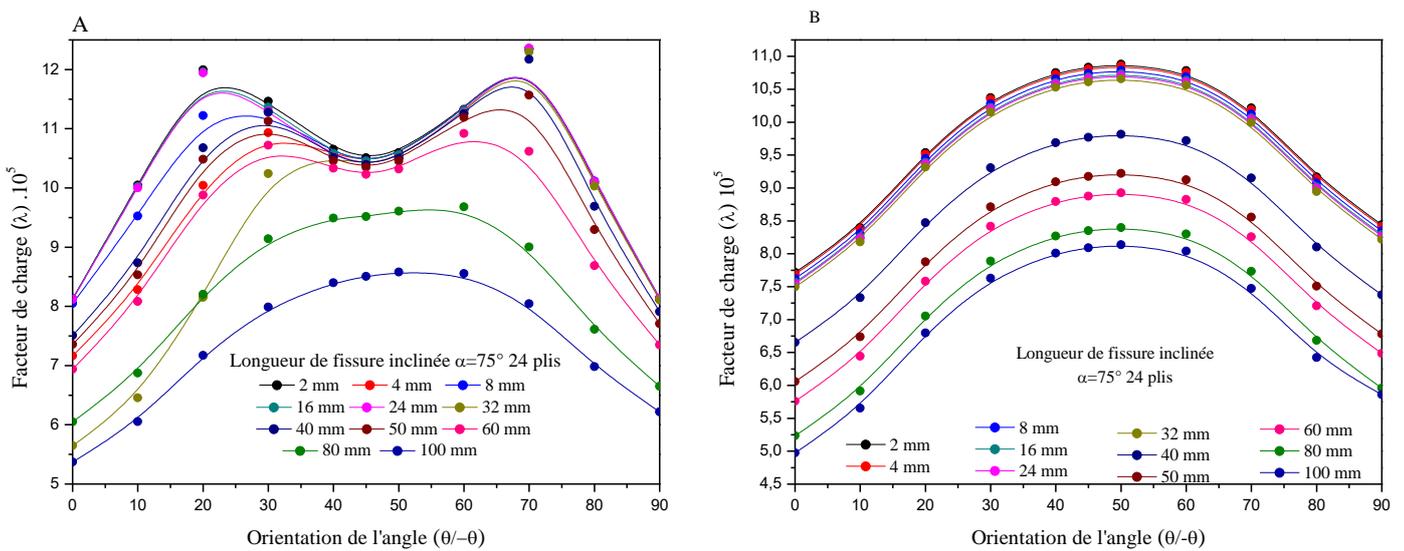


Fig. II.21. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

La figure II. (19,20et21) montrent l'effet de la fissure inclinée de 75° en fonction des plis θ avec : A) une orientation de fibres symétriques et B) orientation de fibres antisymétriques des 06, 12, et 24 plis.

Les mêmes allures sont notées pour les cas de la fissure inclinée 30° et 45° mais avec un facteur de charge plus faible.

II.4.1.4. Influence de la fissure circumférentielle

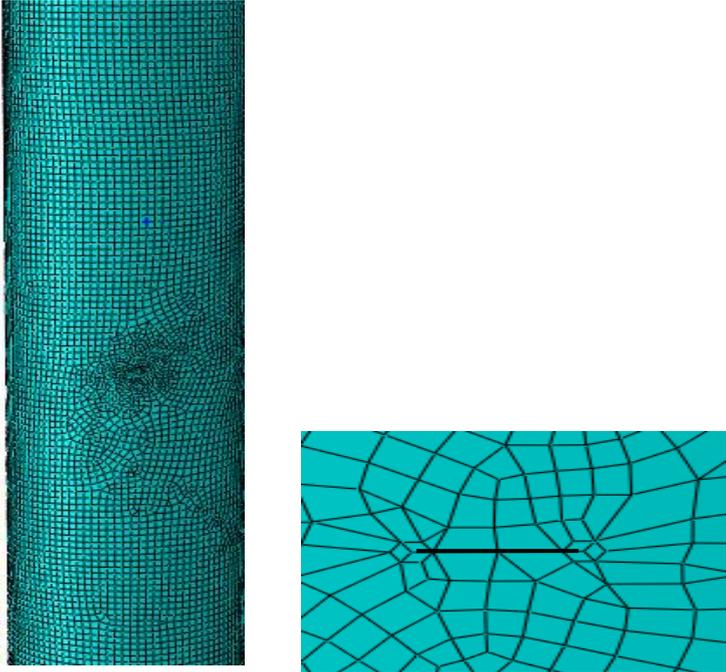
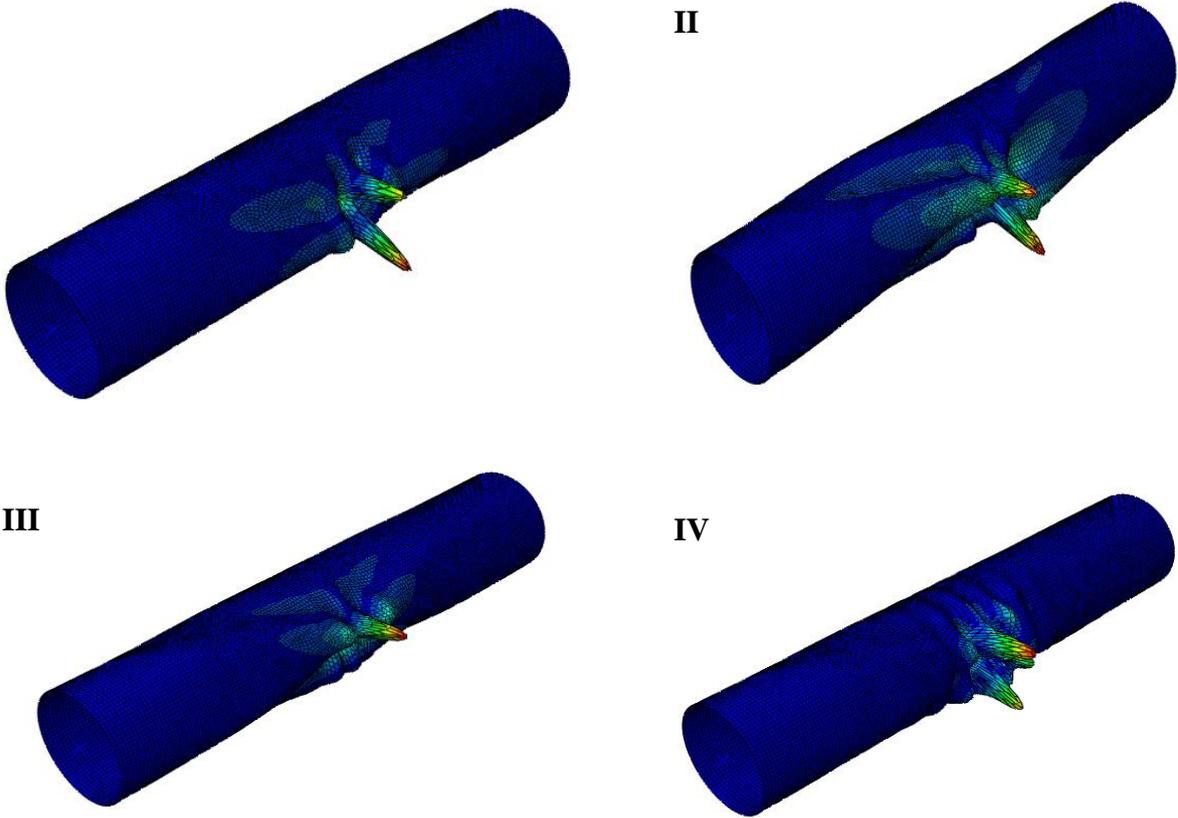


Fig. II.22. Modèles géométriques d'un pipe cylindrique avec une fissure transversale



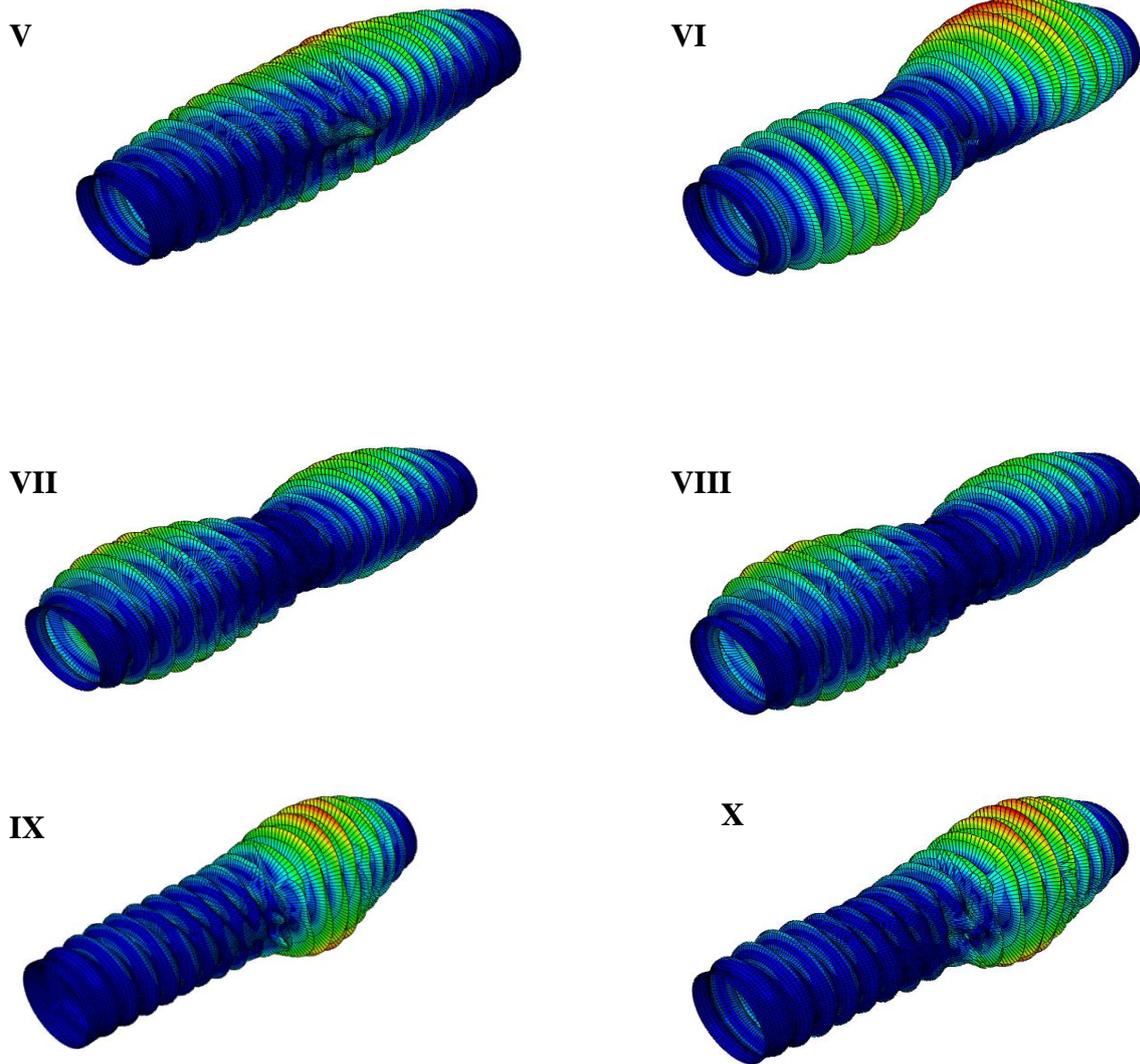


Fig. II.23. Modes de flambement d'une pipe cylindrique en composite stratifié en présence de la fissure transversale.

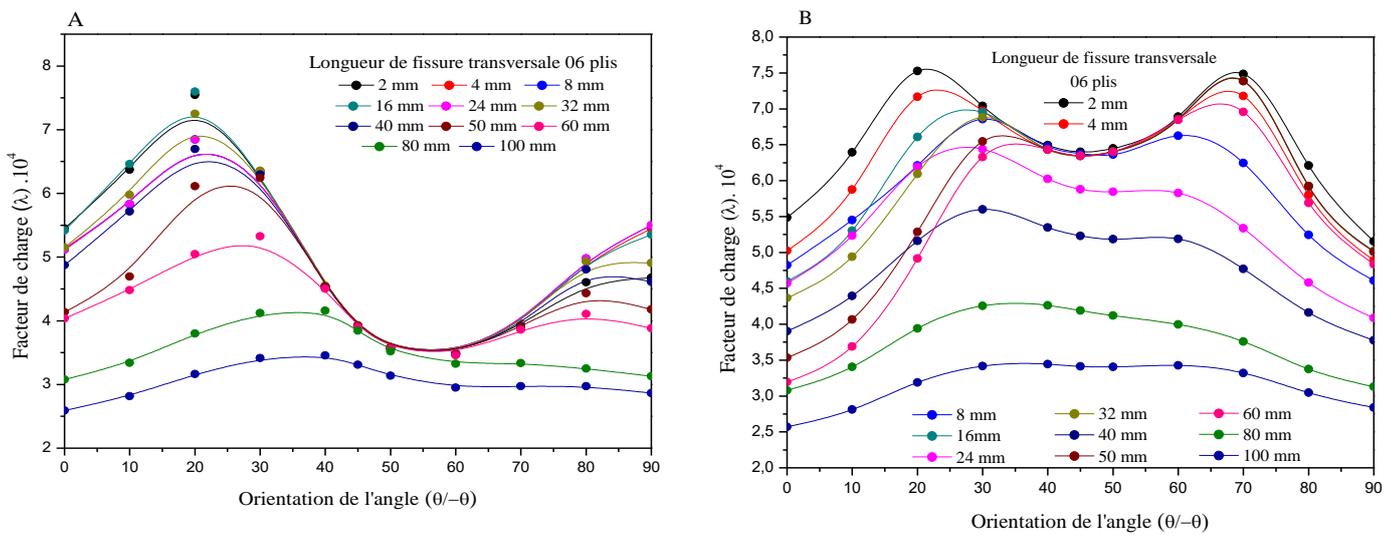


Fig. II.24. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

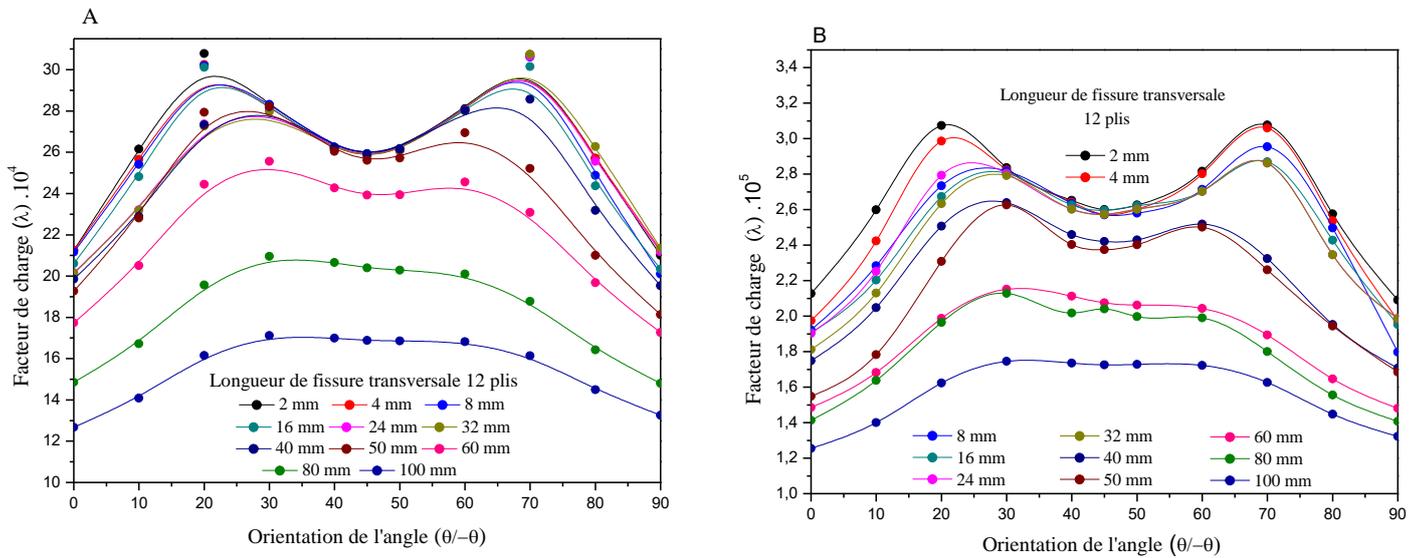


Fig. II.25. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

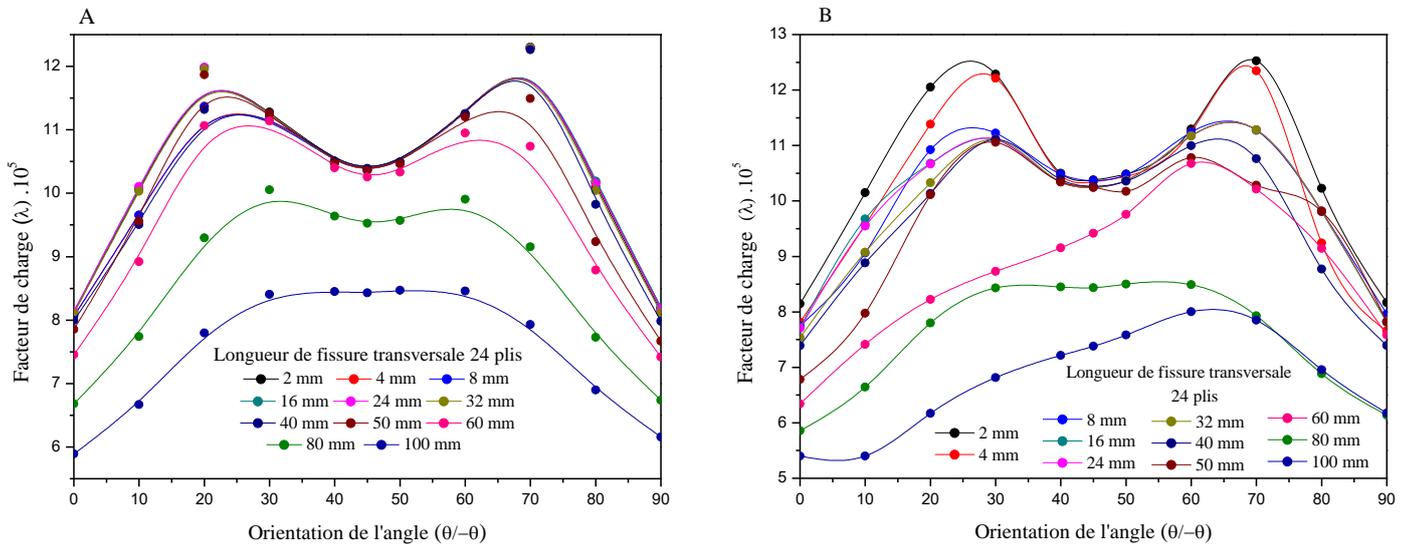


Fig. II.26. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Il est évident de mettre l'accent sur l'effet de la présence de fissure transversale dans le pipe-cylindrique de différentes orientations des plis. L'effet de la taille de la fissure est tenu en compte sur le pipe de 1m de longueur fig. II (.24, 25et 26). Les grandes longueurs de la fissure transversale présentent un effet nocif sur le comportement du pipe, lorsqu'elles sont plus de 16 fois plus que le plis 06. Au-delà de cette valeur le facteur λ augmente et devient plus résistant à $\theta=70^\circ$.

II.4.2. Pipe conique

II.4.2.1. le premier cas ($R_1=200$; $r=\frac{R_1}{R_2}=\frac{3}{4}d=150$) mm

II.4.2.1.1. Effet d'angle d'orientation des fibres pour des pipes non fissurés

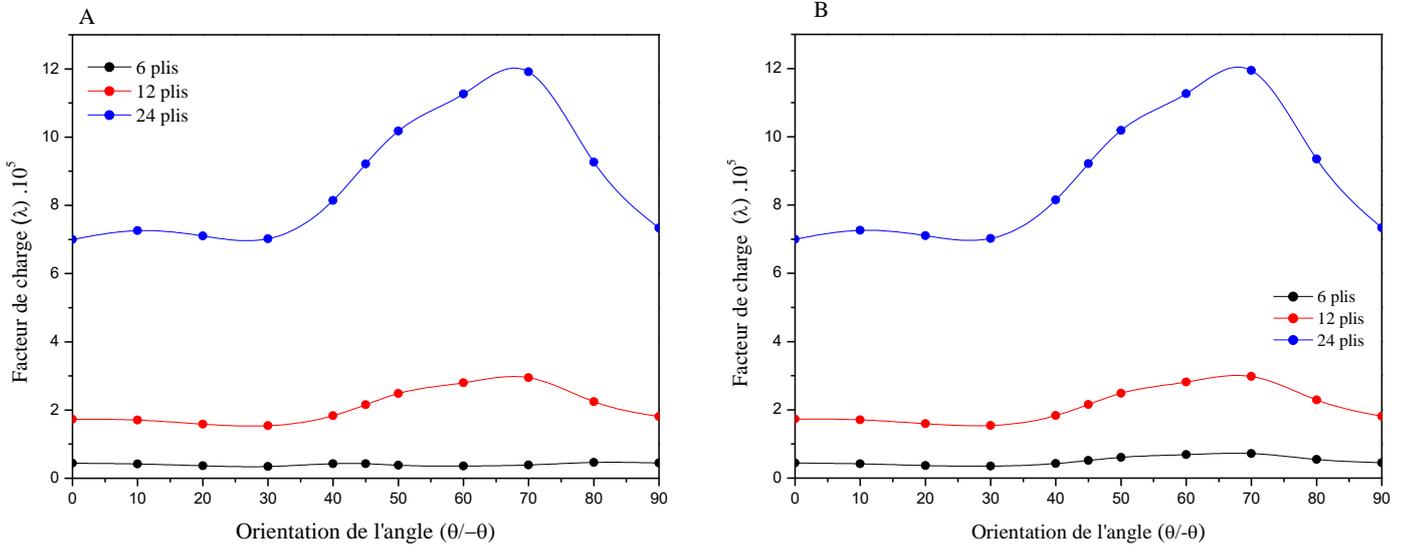


Fig. II.27. Variation du facteur de charge λ en fonction d'orientation des plis θ

II.4.2.1.2. Influence de la fissure longitudinale

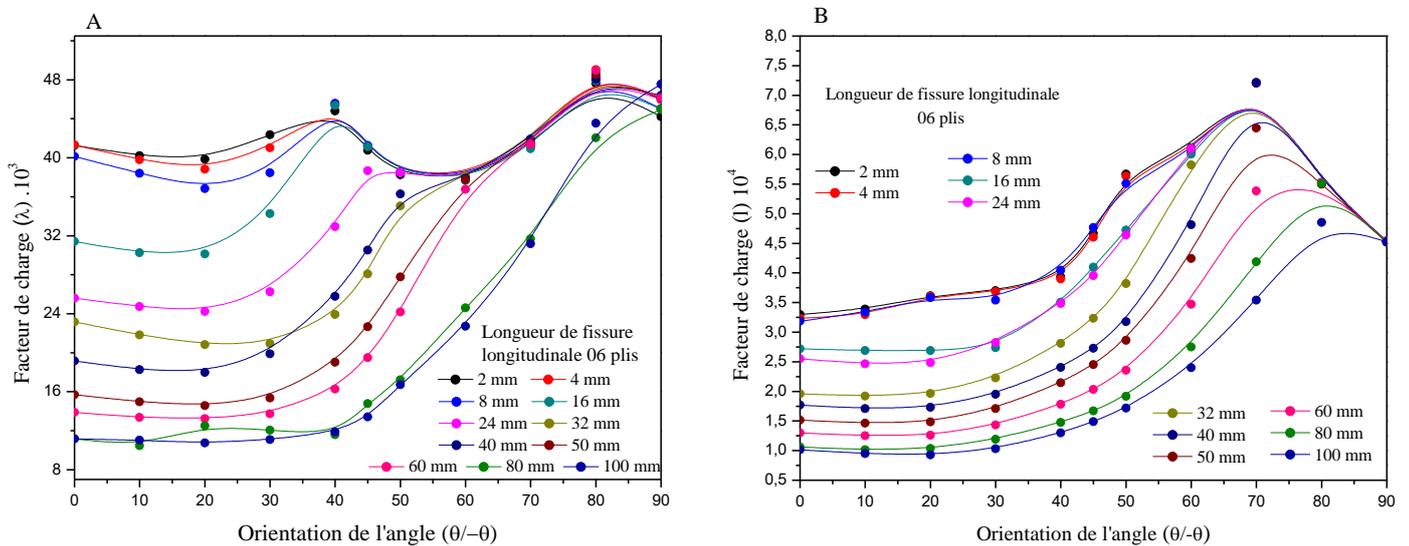


Fig. II.28. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

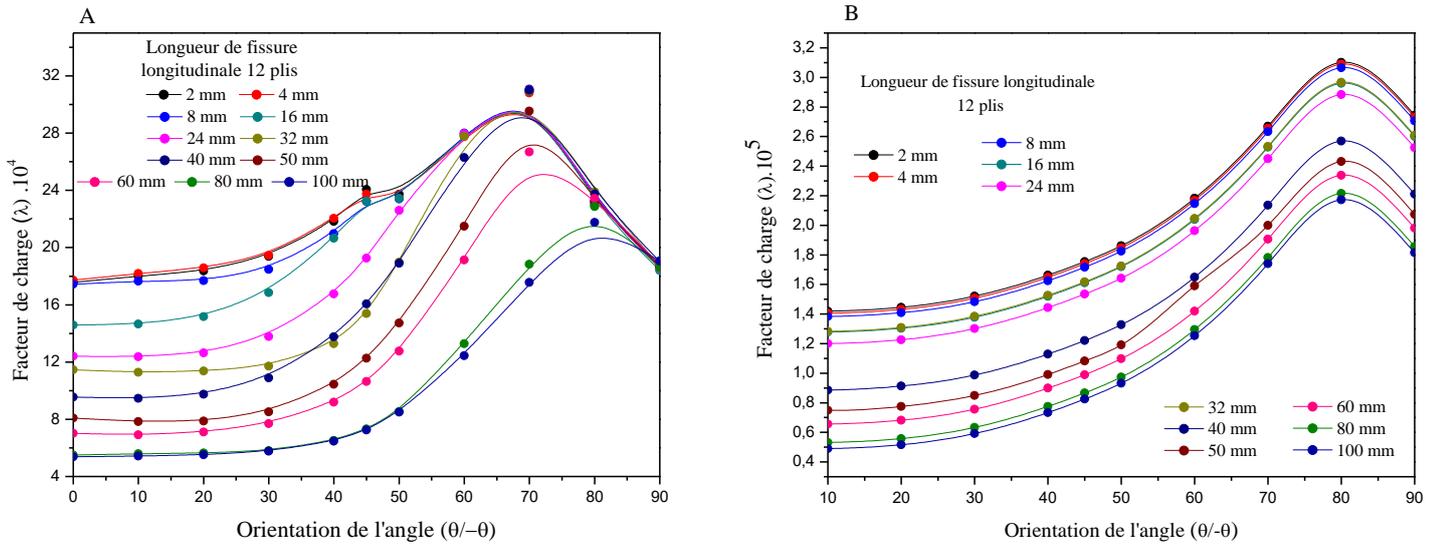


Fig. II.29. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

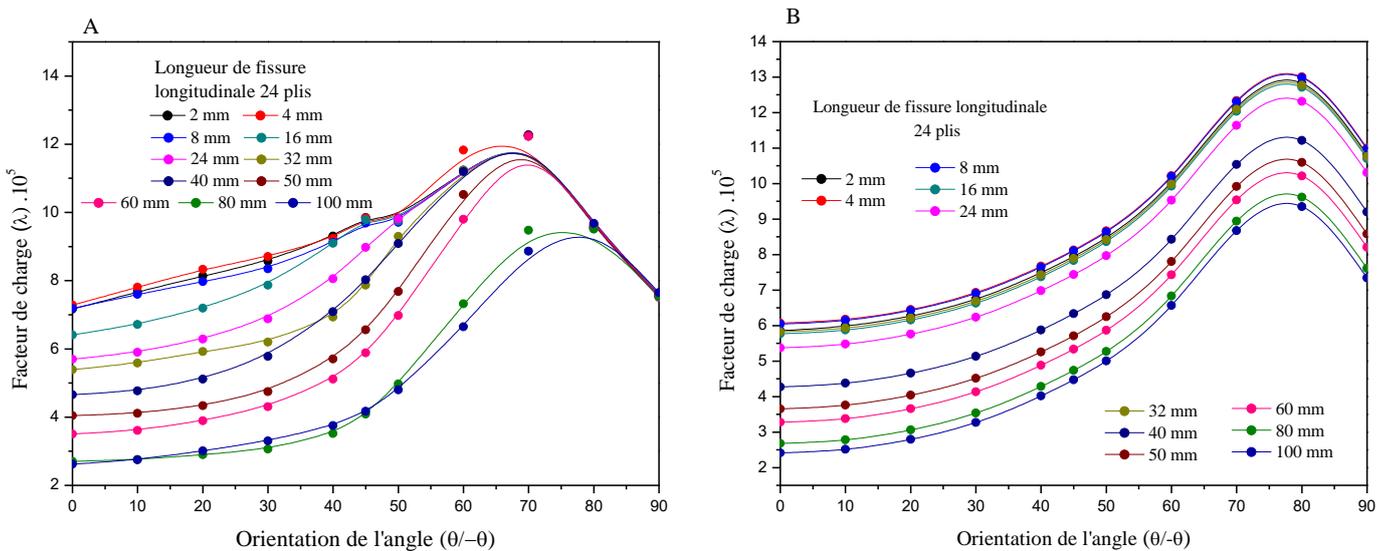


Fig. II.30. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Les figures II (28,29et30) montrent l'effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction de l'angle des plis θ avec A) une orientation de fibres symétrique et B) orientation de fibres antisymétriques. Les angles d'orientations des plis sont ($0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$ et 90°). Il est à noter que l'allure de facteur de charge augmente avec la réduction de la taille de la fissure par rapport au rayon du pipe.

On constate que λ prend la valeur maximale pour une taille de fissure petite avec de l'angle de l'orientation atteint la limite de $\theta=70^\circ$ qui représente une meilleure résistance dans le cas des pipes coniques symétrique et antisymétrique à 12 et 24 plis, hormis le cas de 06 plis symétrique, on a une bonne résistance à $\theta=80^\circ$. $\Delta\alpha$ plage des orientations de fibres $50^\circ, 60^\circ,$

et 70° il y'a une stabilité pour toutes les longueurs sauf les tailles a=100mm et 80mm. Le cas antisymétrique de 06 plis λ atteint sa valeur maximale à $\theta=70^\circ$.

II.4.2.1.3. Influence de la fissure inclinée $\alpha=30^\circ$

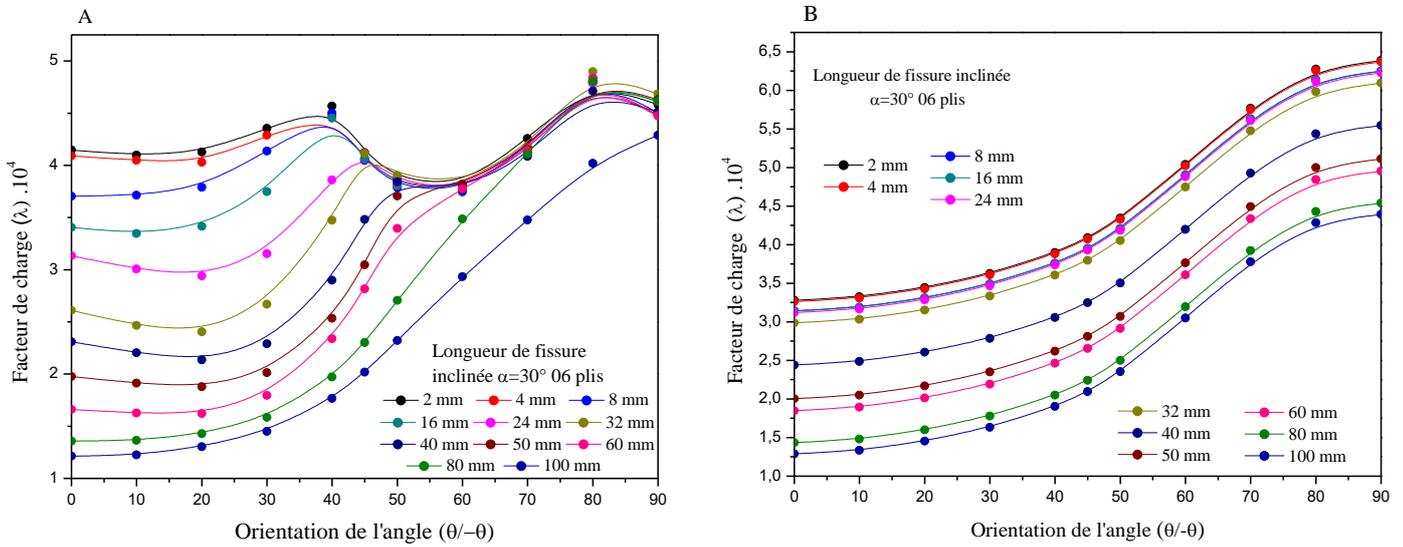


Fig. II.31. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

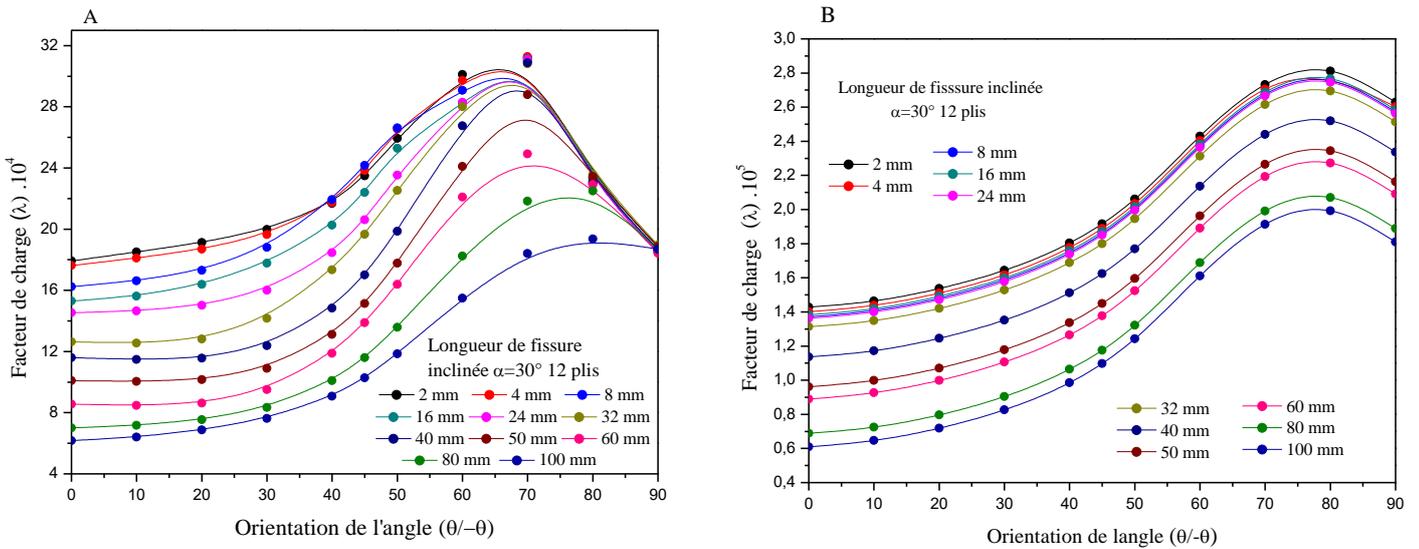


Fig. II.32. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

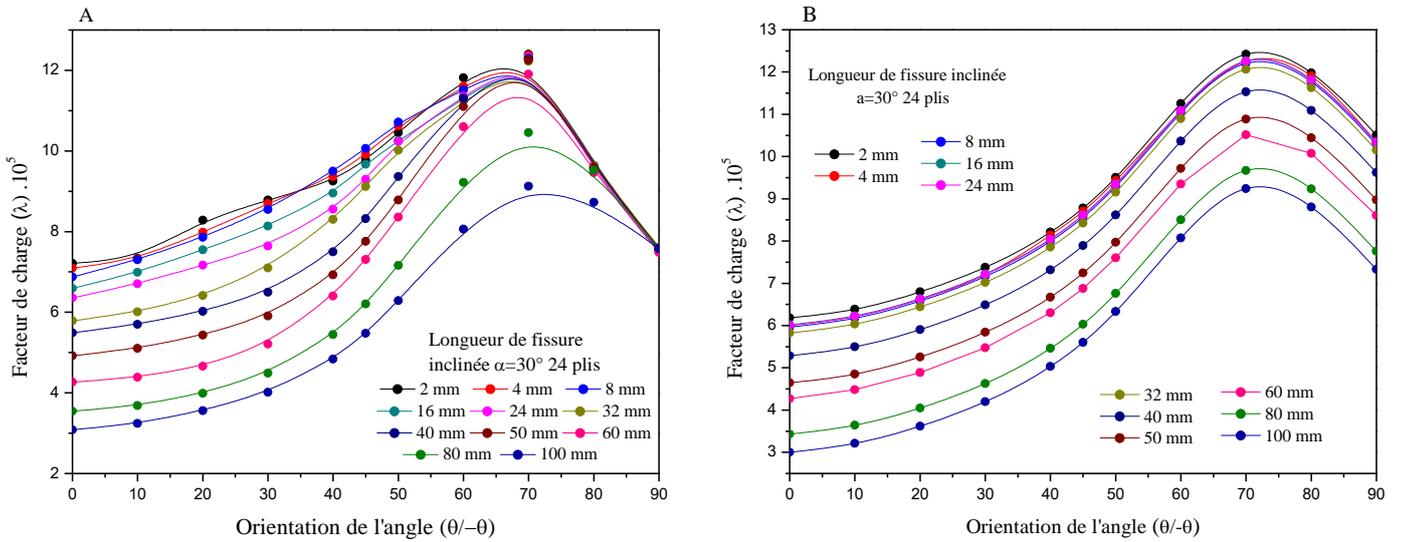


Fig. II.33. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Les figures II (31, 32 et 33), illustrent l'effet de la taille de la fissure inclinée à 30° en fonction de l'angle des plis θ avec A) une orientation de fibres symétrique et B) orientation de fibres antisymétriques. Les angles d'orientations des plis sont les mêmes que précédemment. Il est à noter que l'allure de facteur de charge augmente avec la réduction de la taille de la fissure par rapport au rayon du pipe.

Le facteur de charge λ prend la valeur maximale pour une taille de fissure petite avec de l'angle de l'orientation atteint la limite de $\theta = 70^\circ$ qui représente une meilleure résistance dans le cas symétrique et antisymétrique pour [12 et 24] plis hormis le cas de 06 plis symétrique, on a une bonne résistance à $\theta=20^\circ$ et la plage des orientations de fibres $50^\circ, 60^\circ$, et 70° il y'a une stabilité pour toutes les longueurs sauf les tailles $a=100\text{mm}$ et 80mm . Le cas antisymétrique de 06 plis λ croît et atteint sa valeur maximale à 90° .

II.4.2.1.4. Influence de la fissure inclinée $\alpha=45^\circ$

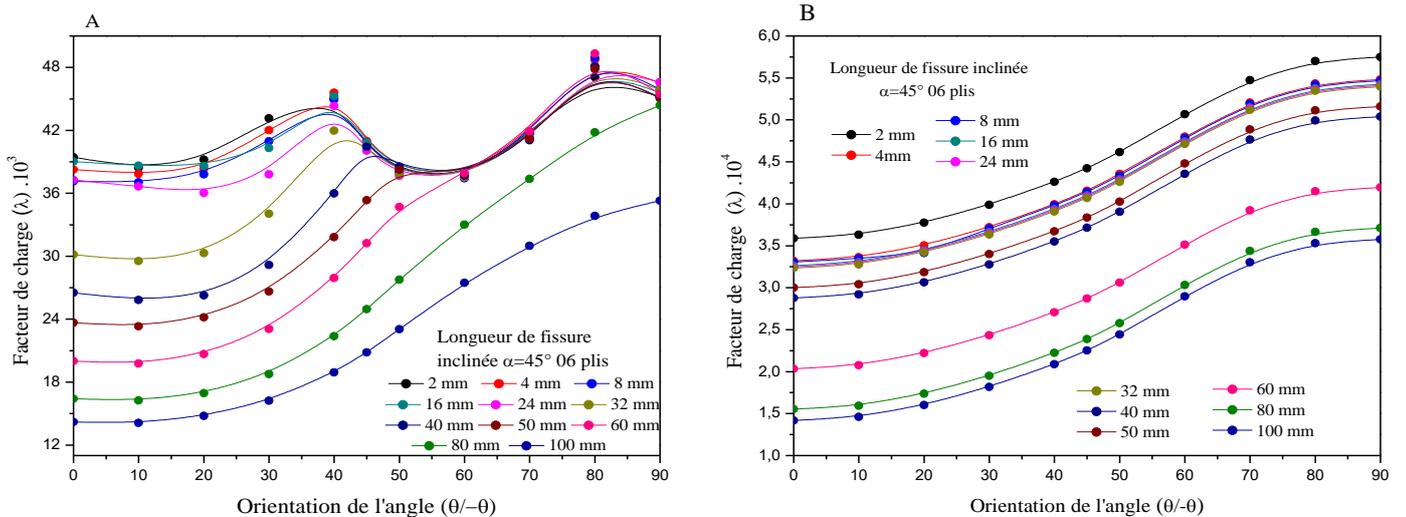


Fig. II.34. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

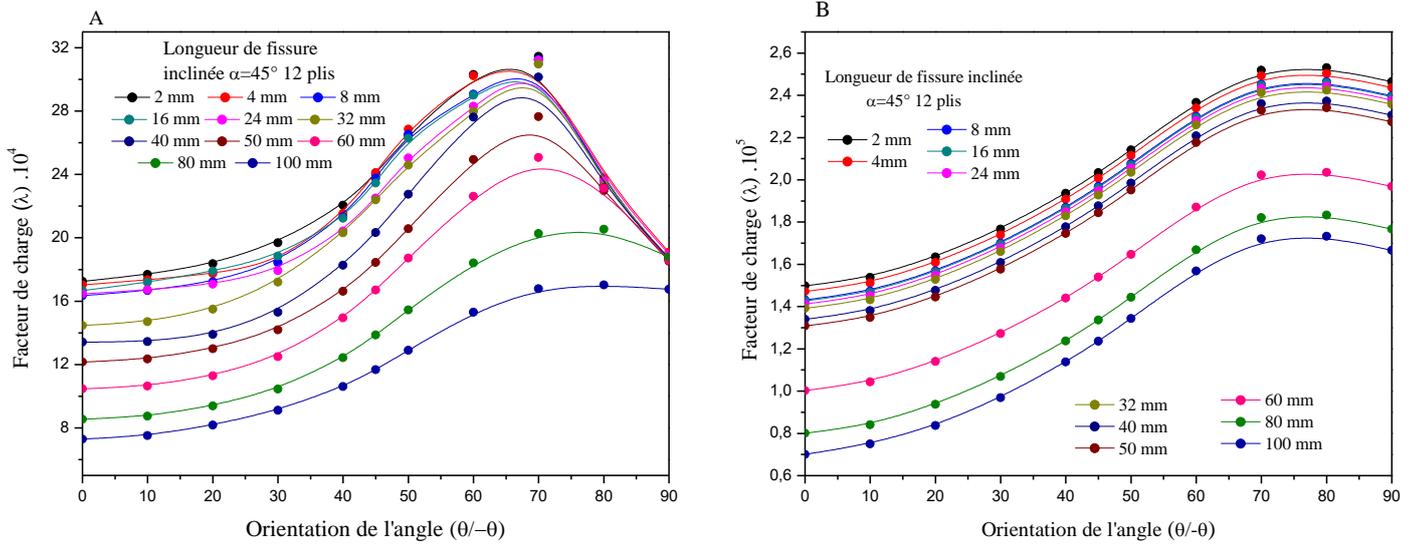


Fig. II.35. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

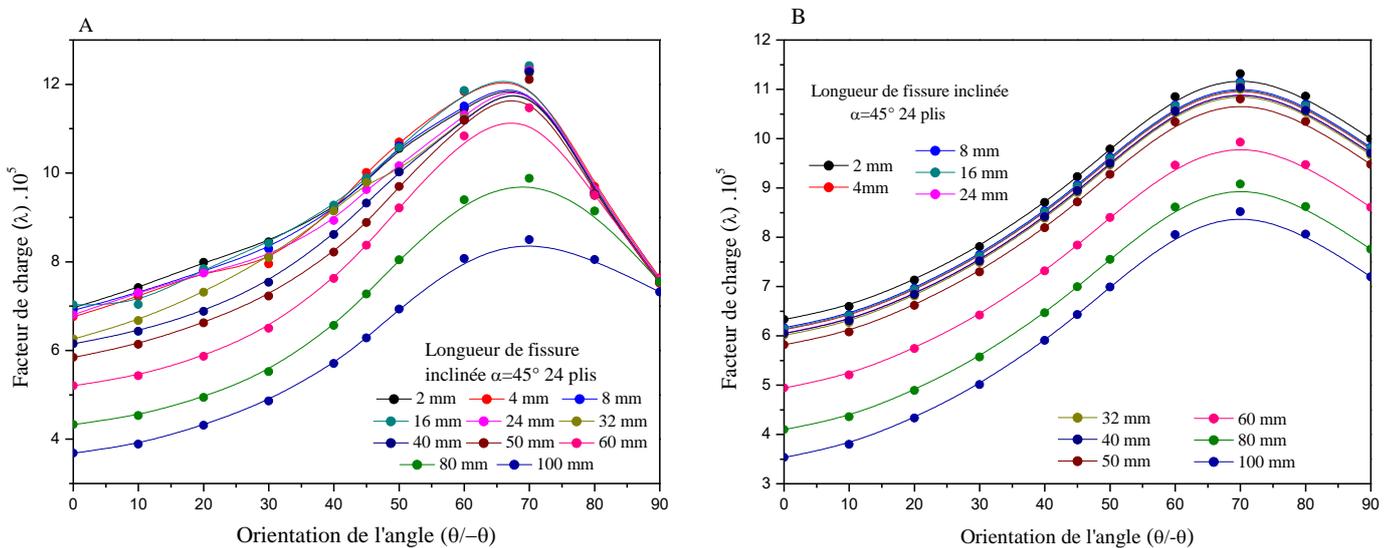


Fig. II.36. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Sur les Figures II. (34,35et36), on montre l'effet de la taille de la fissure inclinée à 45° en fonction de l'angle des plis θ avec A) une orientation de fibres symétrique et B) orientation de fibres antisymétriques. Les angles d'orientations des plis sont (0°, 10°, 20°, 30°, 40°, 45°, 50°, 60°, 70°, 80° et 90°). Il est à noter que l'allure de facteur de charge augmente avec la réduction de la taille de la fissure par rapport au rayon du pipe. Les mêmes constatations sont notées qu'auparavant.

II.4.2.1.5. Influence de la fissure inclinée $\alpha=75^\circ$

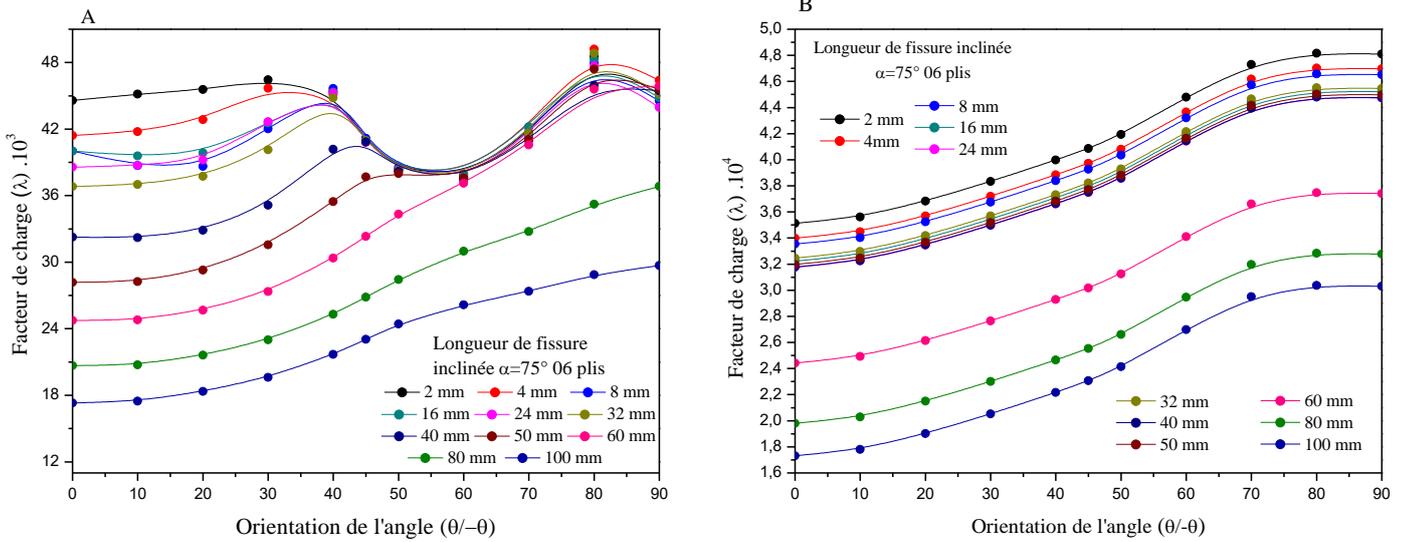


Fig. II.37. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis.

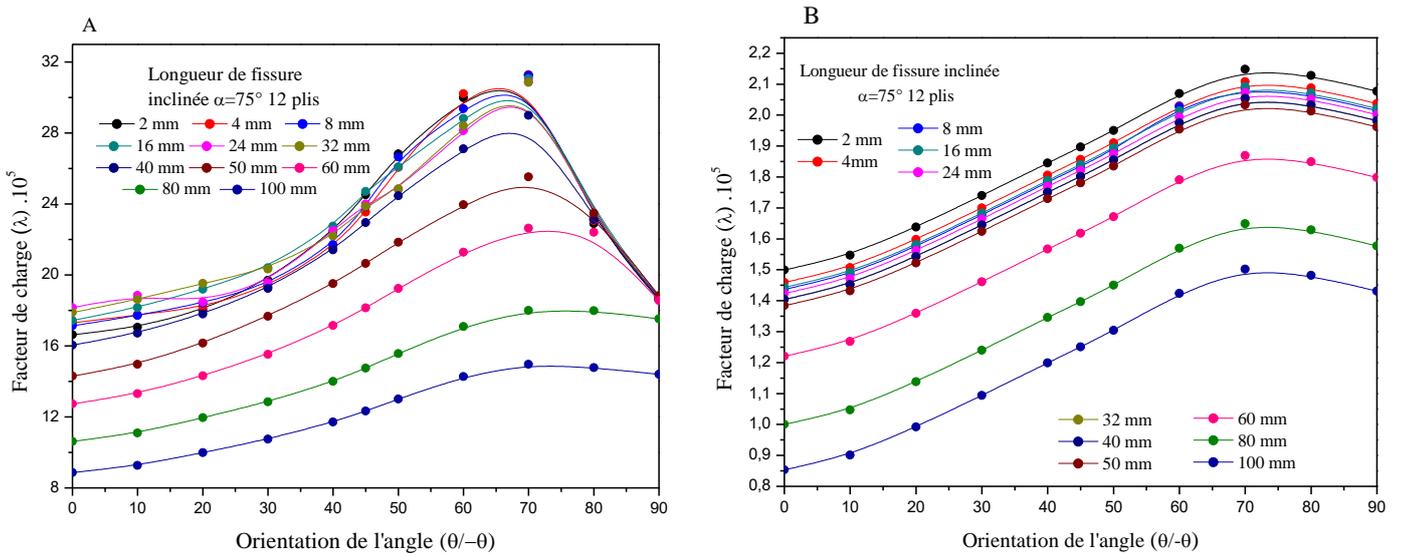


Fig. II.38. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

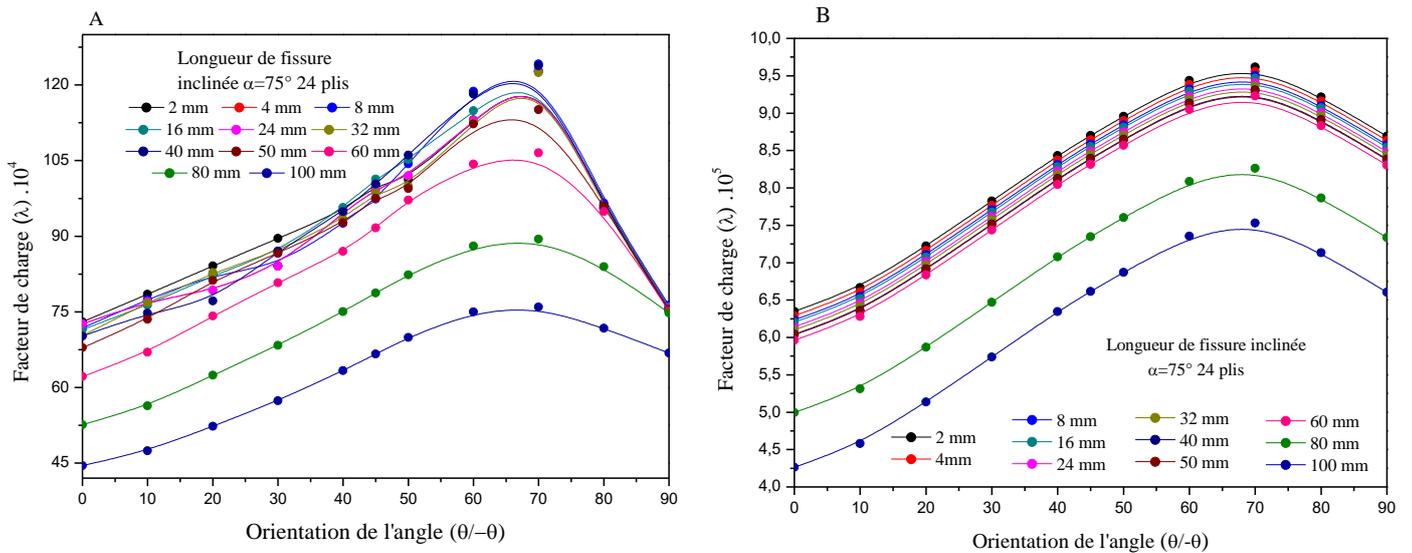


Fig. II.39. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Les figures II (37,37et39) on montre l'effet de la taille de la fissure inclinée à 75° en fonction de l'angle des plis θ avec A) une orientation de fibres symétrique et B) orientation de fibres antisymétriques. Les mêmes constatations sont notées qu'auparavant, sauf que les valeurs du facteur de charges sont plus importantes.

II.4.2.1.6. Influence de la fissure transversale

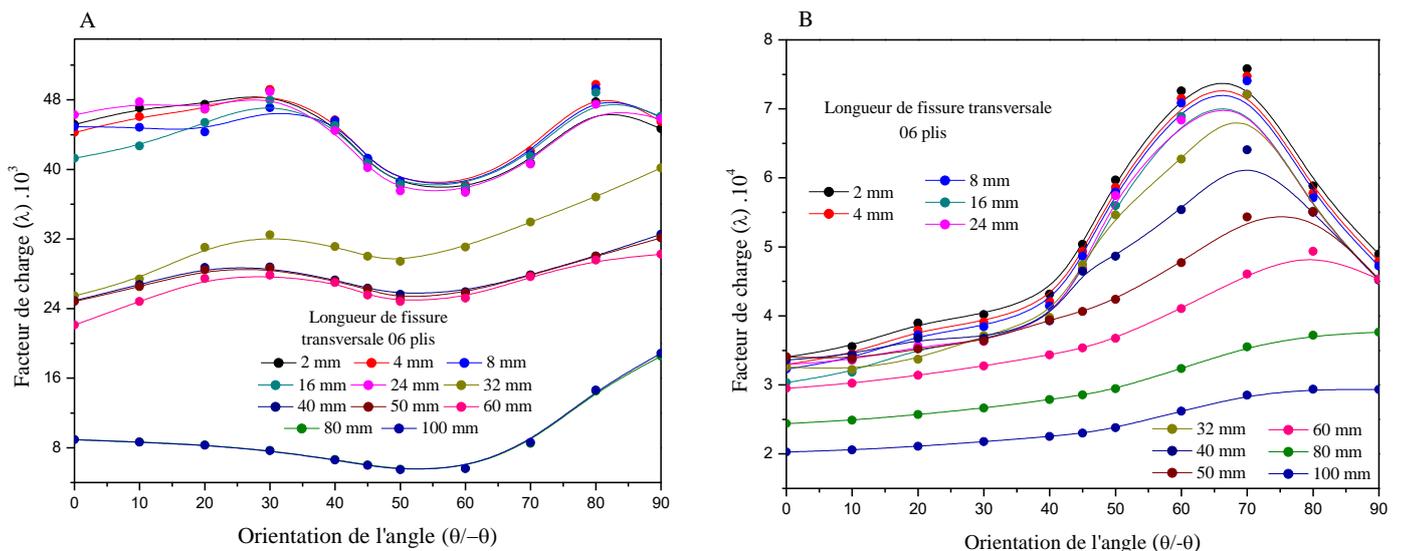


Fig. II.40. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

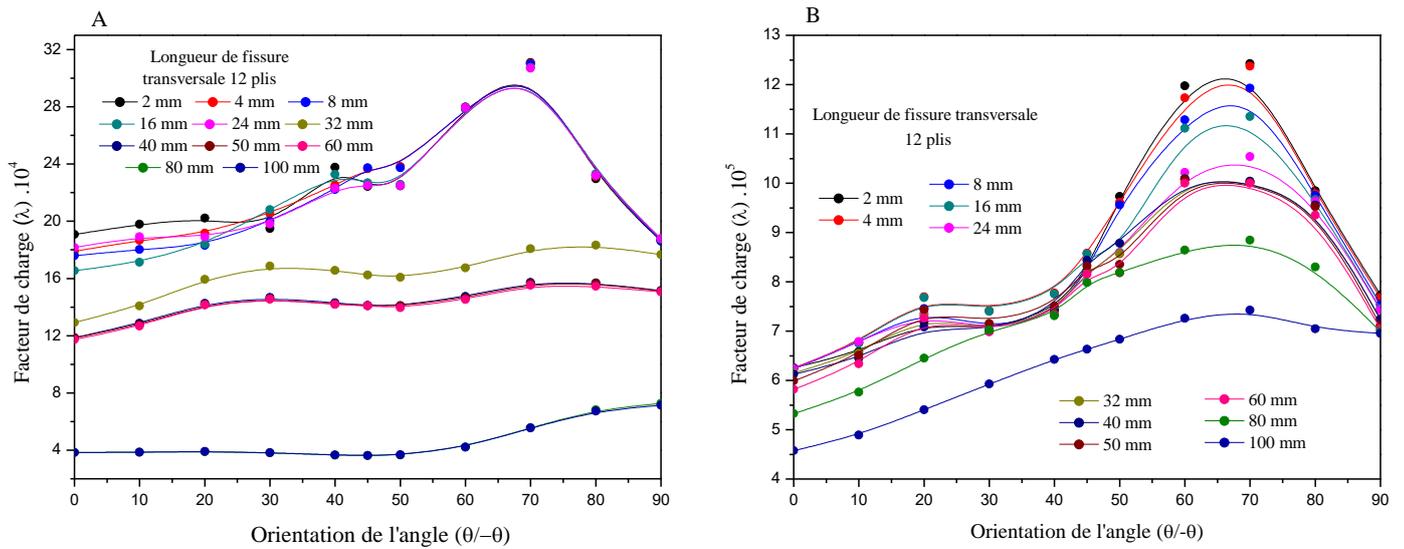


Fig. II.41. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

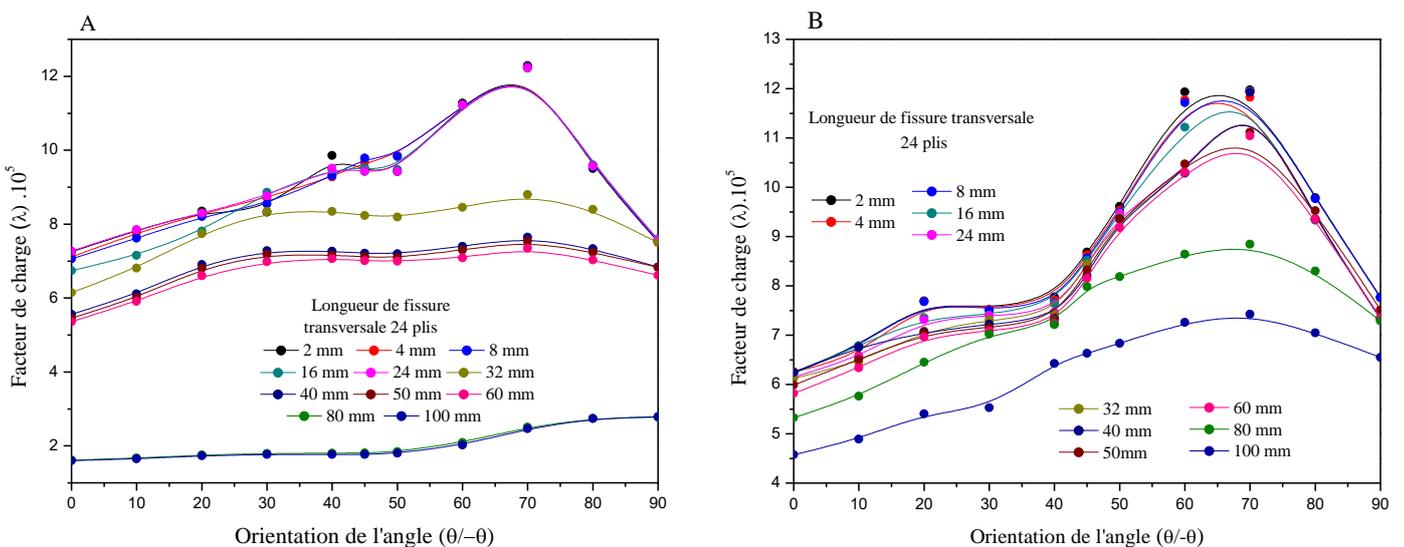


Fig. II.42. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Les figures II (40,41et42) montrent l'effet de la taille de la fissure transversale en fonction de l'angle des plis θ avec A) une orientation de fibres symétrique et B) orientation de fibres antisymétriques. Les angles d'orientations des plis sont ($0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$ et 90°). Il est à signaler que l'allure de facteur de charge augmente avec la réduction de la taille de la fissure par rapport au rayon du pipe.

On constate que λ prend la valeur maximale pour une taille de fissure petite avec de l'angle de l'orientation atteint la limite de $\theta = 70^\circ$. Ce dernier représente une meilleure résistance dans le cas symétrique et antisymétrique pour 12 et 24 plis hormis le cas de 06 plis symétrique, on a

une bonne résistance à $\theta=70^\circ$ pour les tailles $a=2\text{mm}$; 4mm ; 8mm ; 16mm et 24mm . Dans le cas antisymétrique de 06 plis λ croît et atteint sa valeur maximale à 70° .

II.4.2.2. le deuxième cas ($R_1=200$; $R_2=r=\frac{R_1}{R_2}=\frac{3}{5}d=120$) mm

II.4.2.2.1. Effet d'orientation des fibres pour des pipes non fissurés

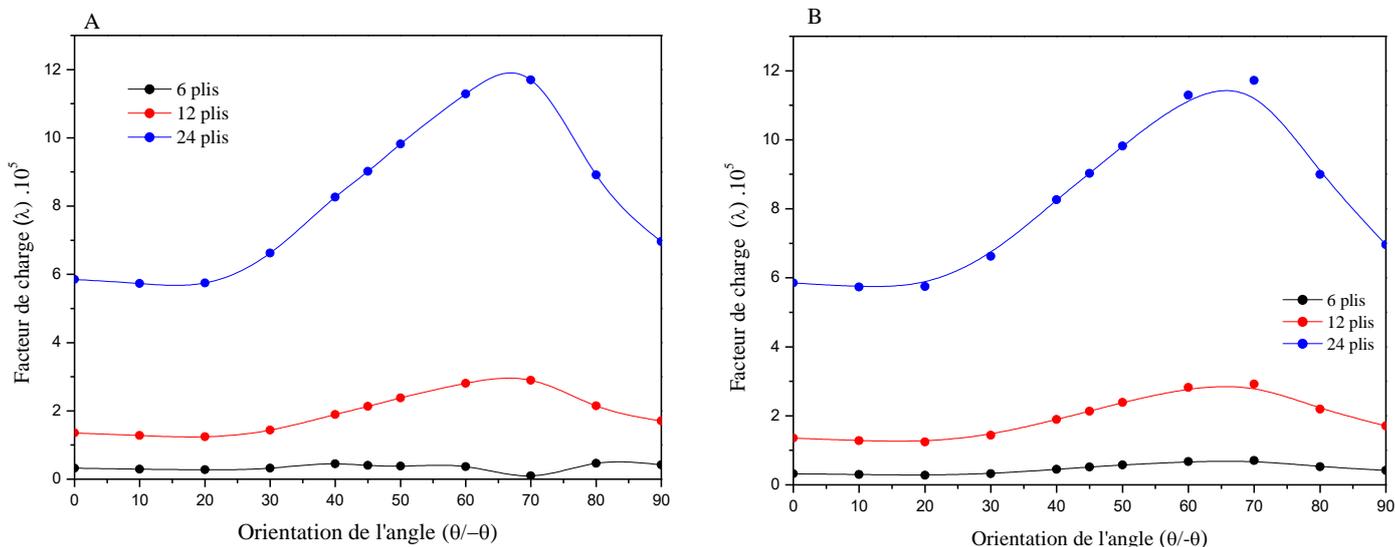


Fig. II.43. Variation du facteur de charge λ en fonction d'orientation des plis θ

II.4.2.2.2. Influence de la fissure longitudinale

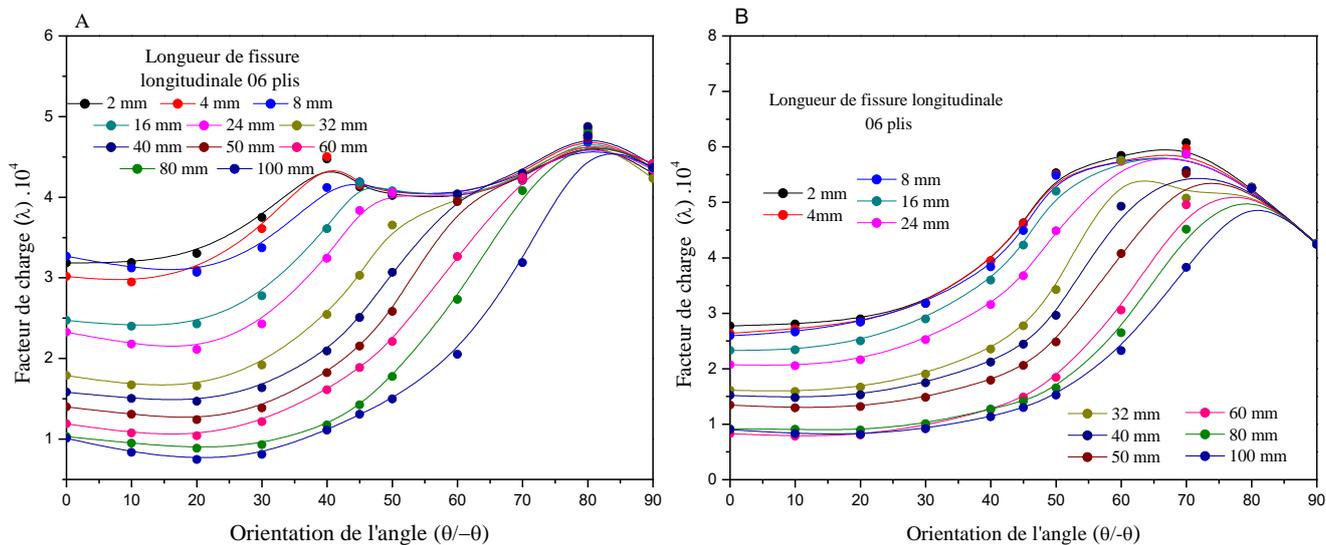


Fig. II.44. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

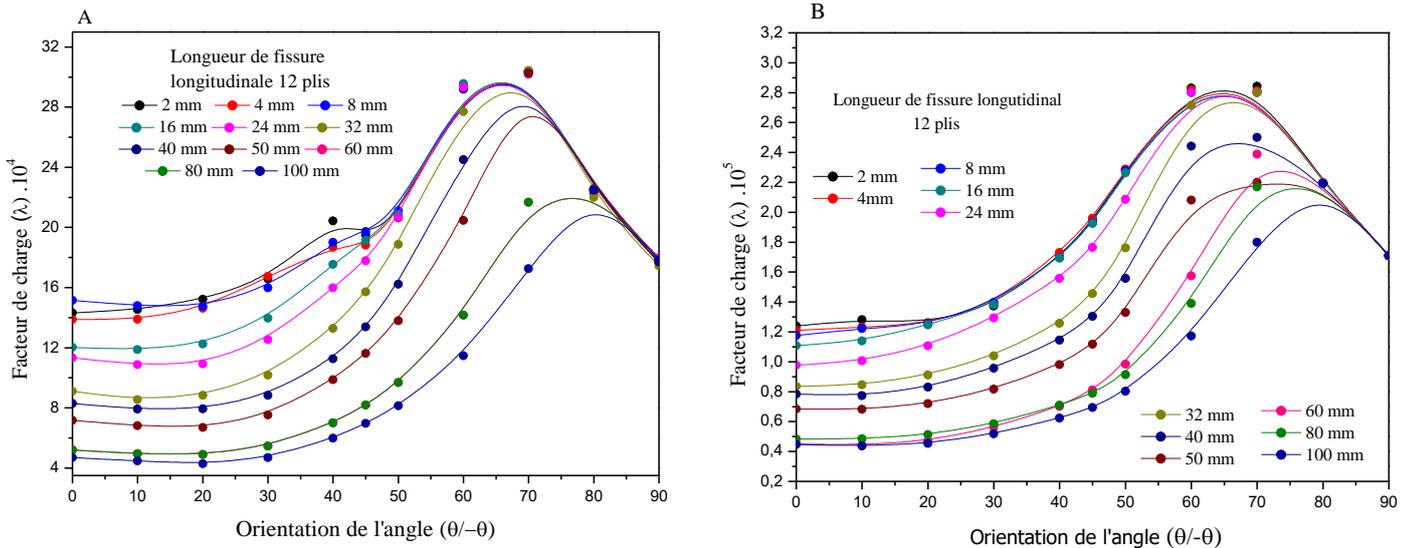


Fig. II.45. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

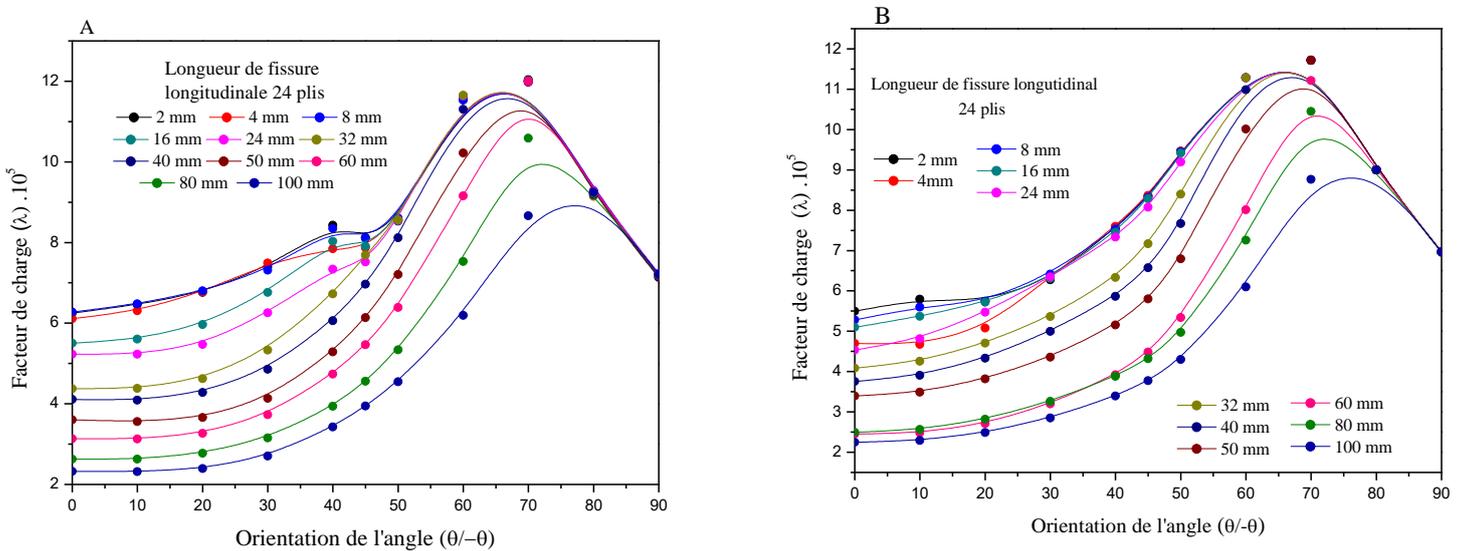


Fig. II.46. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Les figures II. (44,45 et 46), explicitent l'effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction de l'angle des plis θ avec A) une orientation de fibres symétrique et B) orientation de fibres antisymétriques. Les angles d'orientations des plis sont variable de 0° à 90° . Il est à noter que l'allure de facteur de charge augmente avec la réduction de la taille de la fissure.

On constate que λ prend la valeur maximale pour une petite fissure avec une orientation $\theta=70^\circ$ qui donne la meilleure résistance dans le cas symétrique et antisymétrique pour [12 et 24] plis hormis le cas de 06 plis symétrique. On a une bonne résistance à $\theta=20^\circ$ et la plage des orientations de fibres 50° , 60° , et 70° , une stabilité pour toutes les longueurs de fissures sauf les tailles $a=100\text{mm}$ et 80mm . Dans le cas antisymétrique de 06 plis, l'allure de λ prend une forme convexe la plage des orientations de fibres $50^\circ-70^\circ$.

II.4.2.2.3. Influence de la fissure inclinée $\alpha=30^\circ$

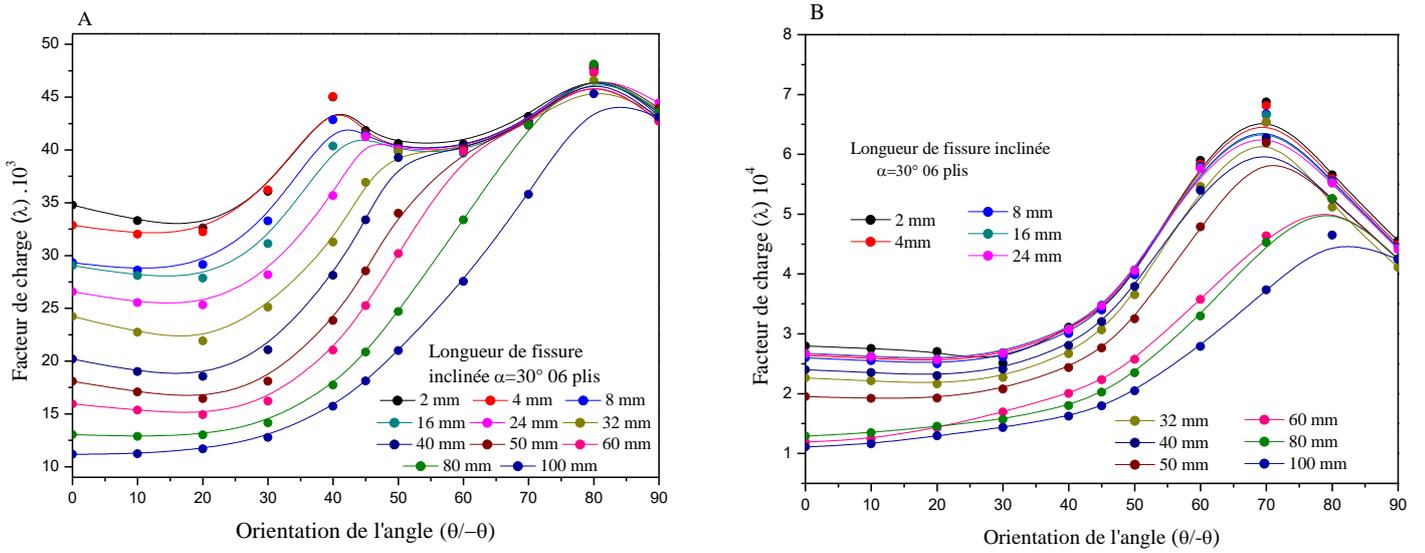


Fig. II.47. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ pour des 06 plis

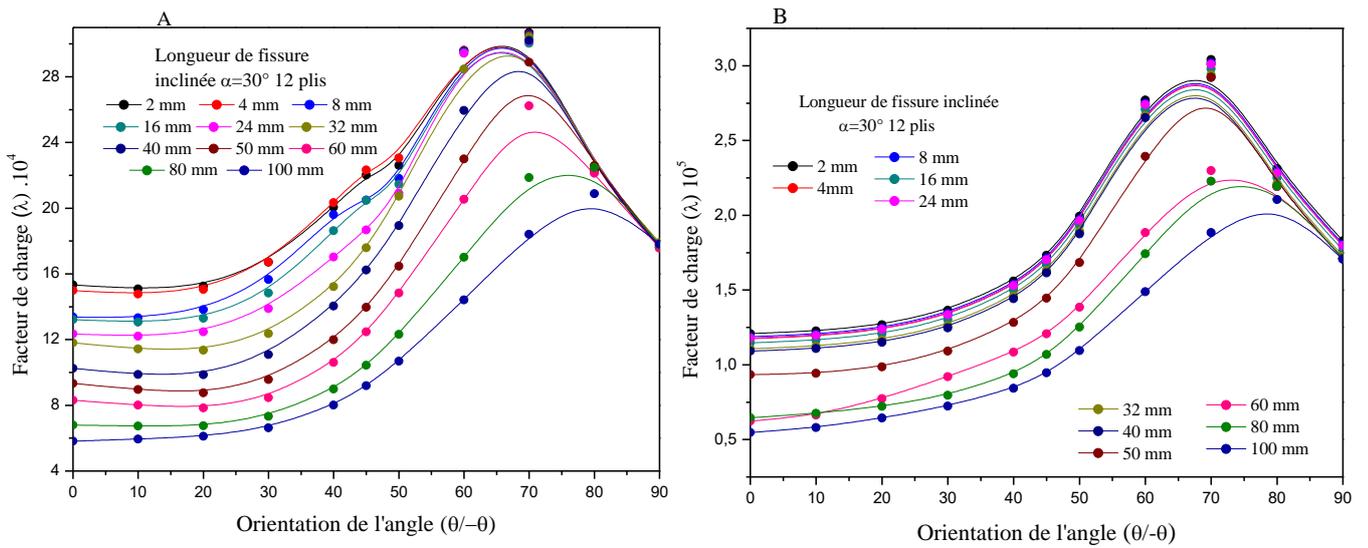


Fig. II.48. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ Pour de des 12 plis

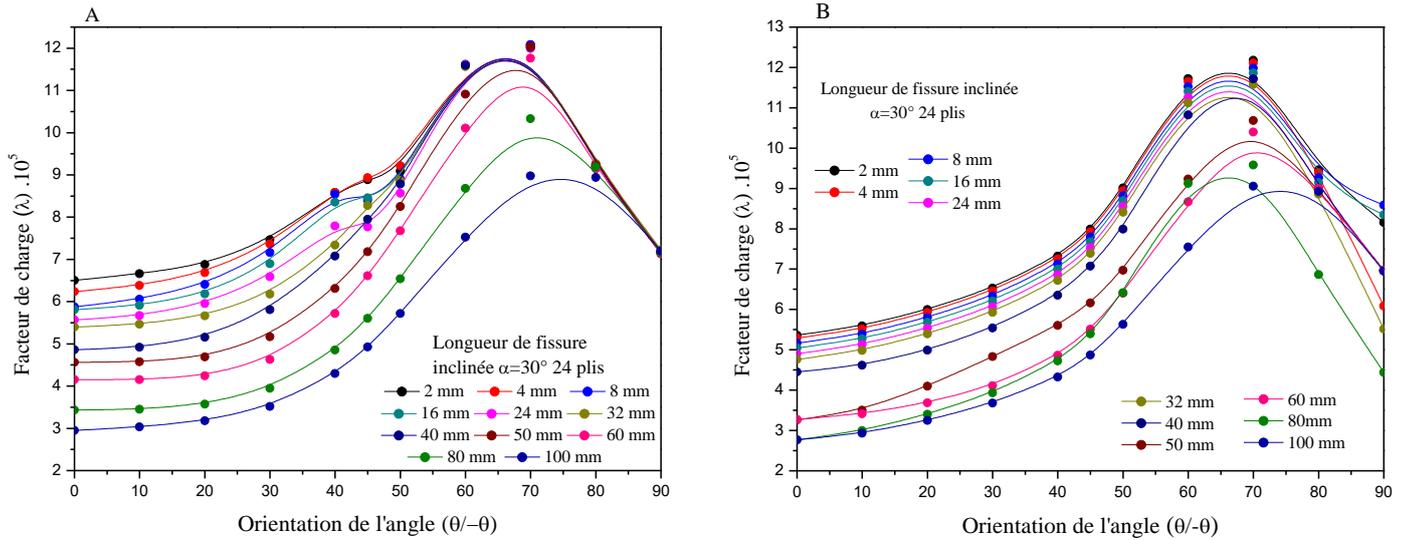


Fig. II.49. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d’orientation des plis θ pour 24 plis

Les figures II. (47,48et49), exhibent l’effet de la taille de la fissure inclinée à 30° en fonction de l’angle des plis θ avec A) une orientation de fibres symétrique et B) orientation de fibres antisymétriques. Mêmes constatations qu’auparavant. Le cas antisymétrique de 06 plis garde les mêmes conditions que 12 et 24 plis.

II.4.2.2.4. Influence de la fissure inclinée $\alpha=45^\circ$

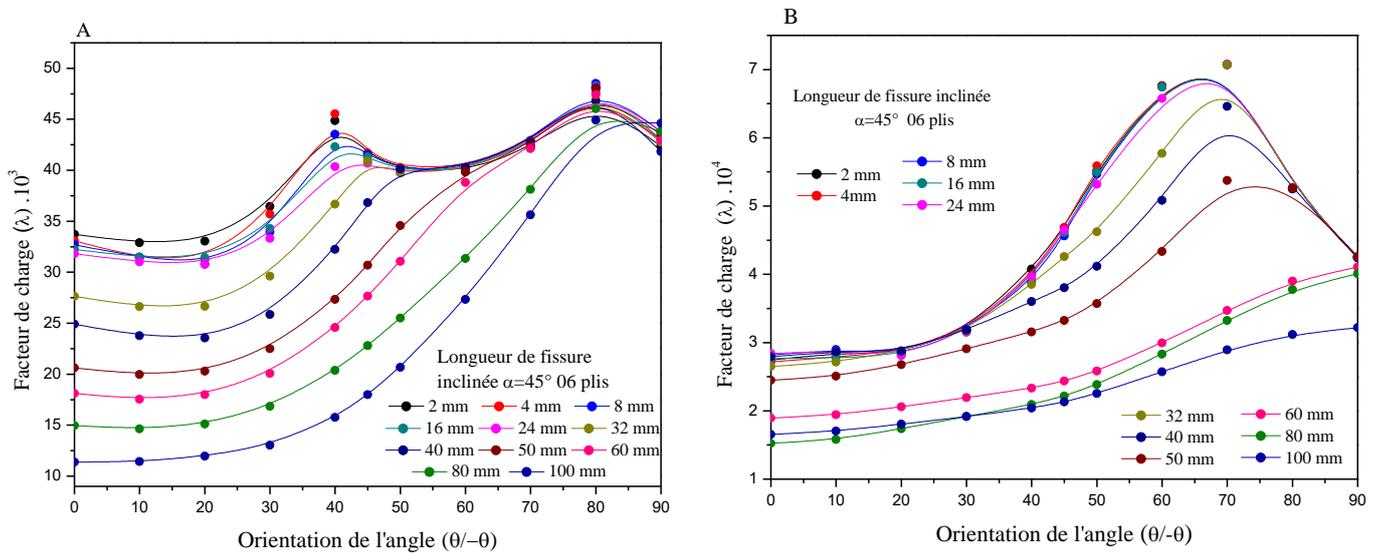


Fig. II.50. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d’orientation des plis θ pour 06 plis

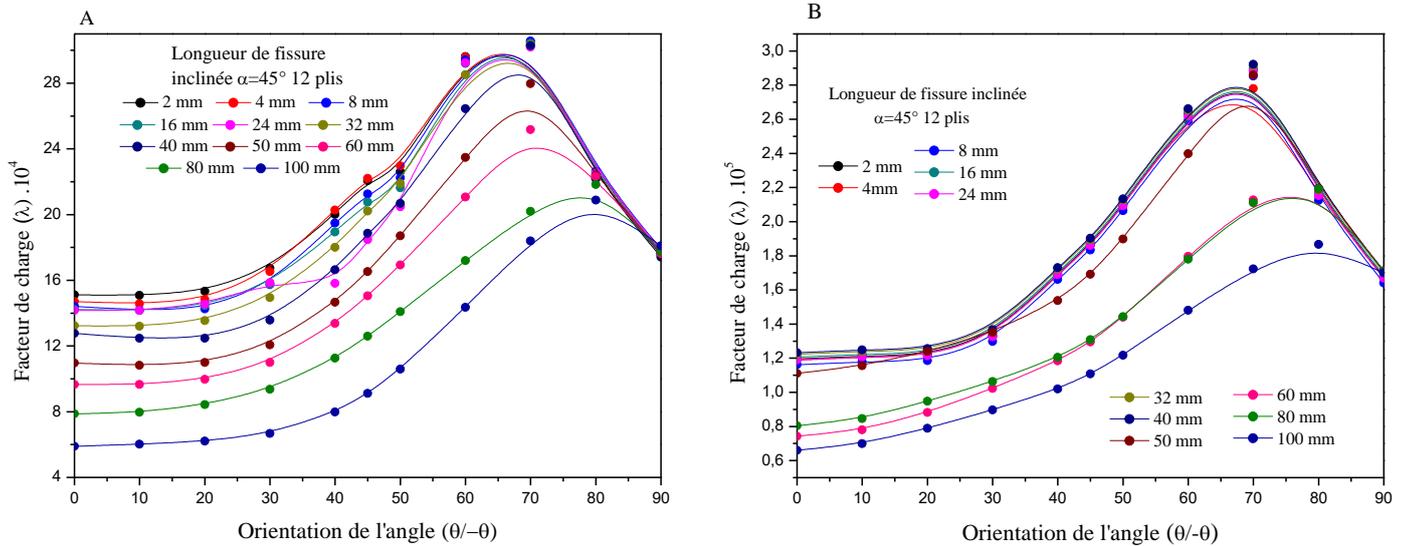


Fig. II.51. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

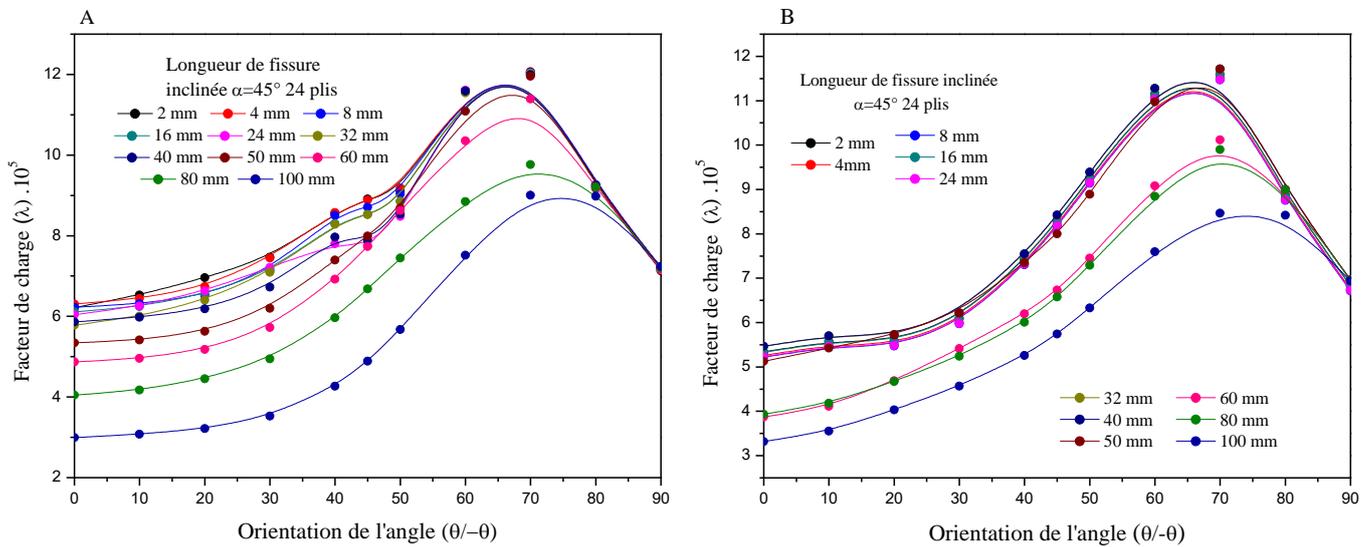


Fig. II.52. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Sur les figures II (50,51 et 52), on montre l'effet de la taille de la fissure inclinée à 45° en fonction de l'angle des plis θ avec A) une orientation de fibres symétrique et B) orientation de fibres antisymétriques. Les angles d'orientations des plis sont 0° à 90° . Il est à noter que l'allure de facteur de charge augmente avec la réduction de la taille de la fissure par rapport au rayon du pipe.

On constate que λ prend la valeur maximale pour une taille de fissure petite avec de l'angle de l'orientation atteint $\theta = 70^\circ$ qui représente une meilleure résistance dans le cas symétrique et antisymétrique pour [12 et 24] plis hormis le cas de 06 plis symétrique, on a une bonne résistance à $\theta = 20^\circ$ et la plage des orientations de fibres 50° , 60° , et 70° il y'a une stabilité pour toutes les longueurs sauf les tailles $a = 100\text{mm}$ et 80mm . Et le cas antisymétrie de 06 plis

garde les mêmes conditions que 12 et 24 plis sauf les taille $a=100\text{mm}$; 80mm et 60mm croit sa valeur maximale à l'angle 90°

II.4.2.2.5. Influence de la fissure inclinée $\alpha=75^\circ$

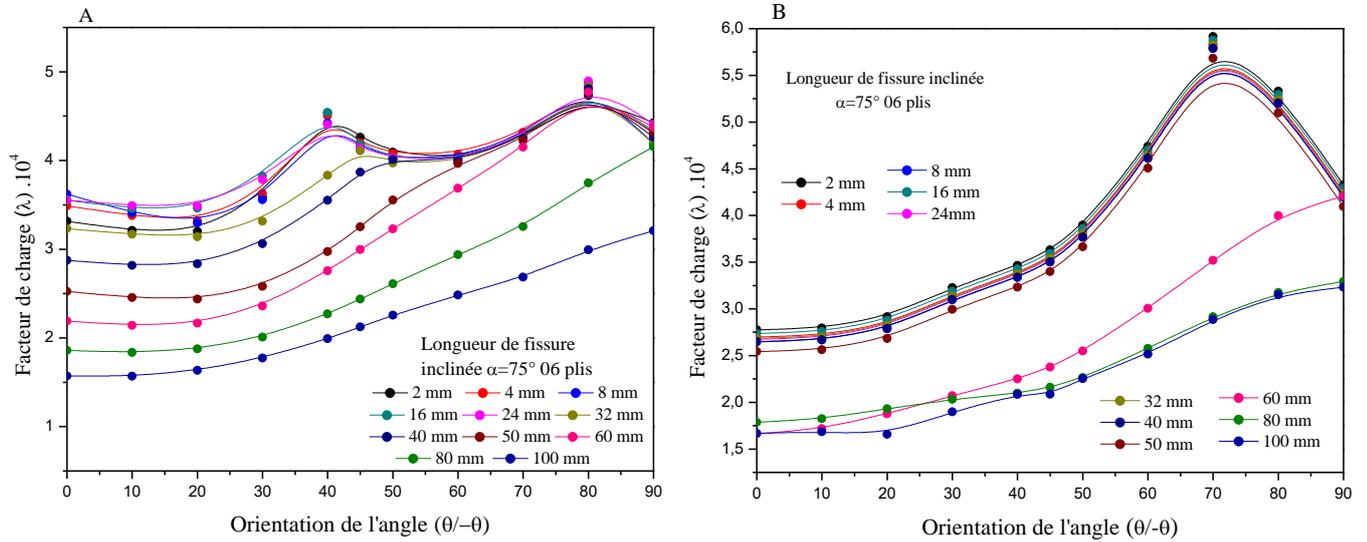


Fig. II.53. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

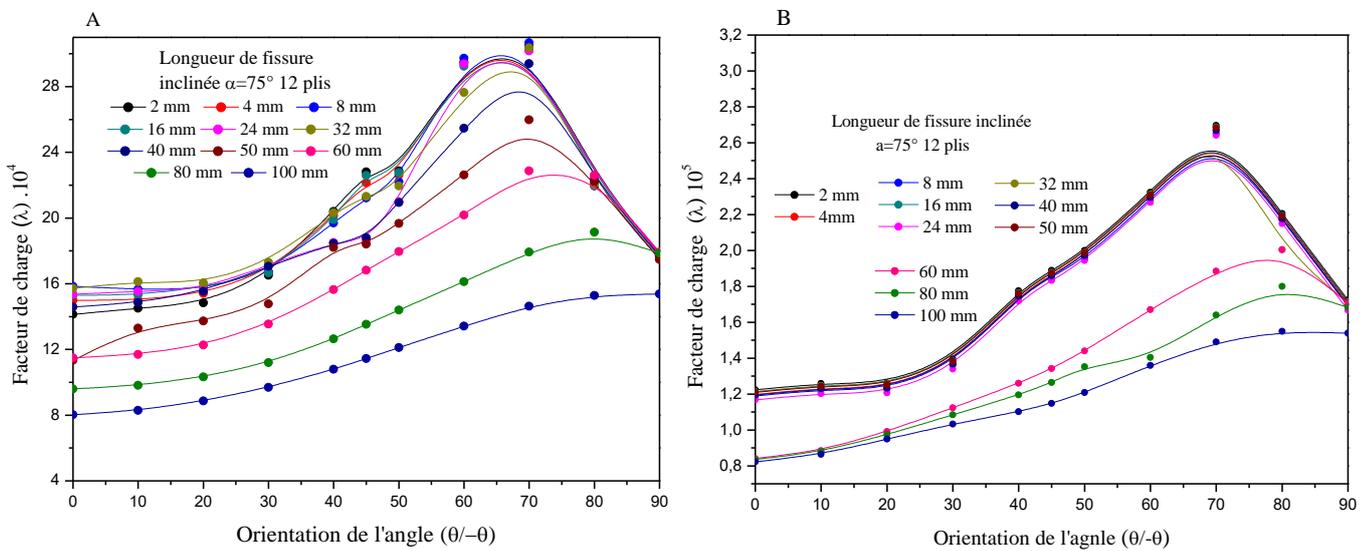


Fig. II.54. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

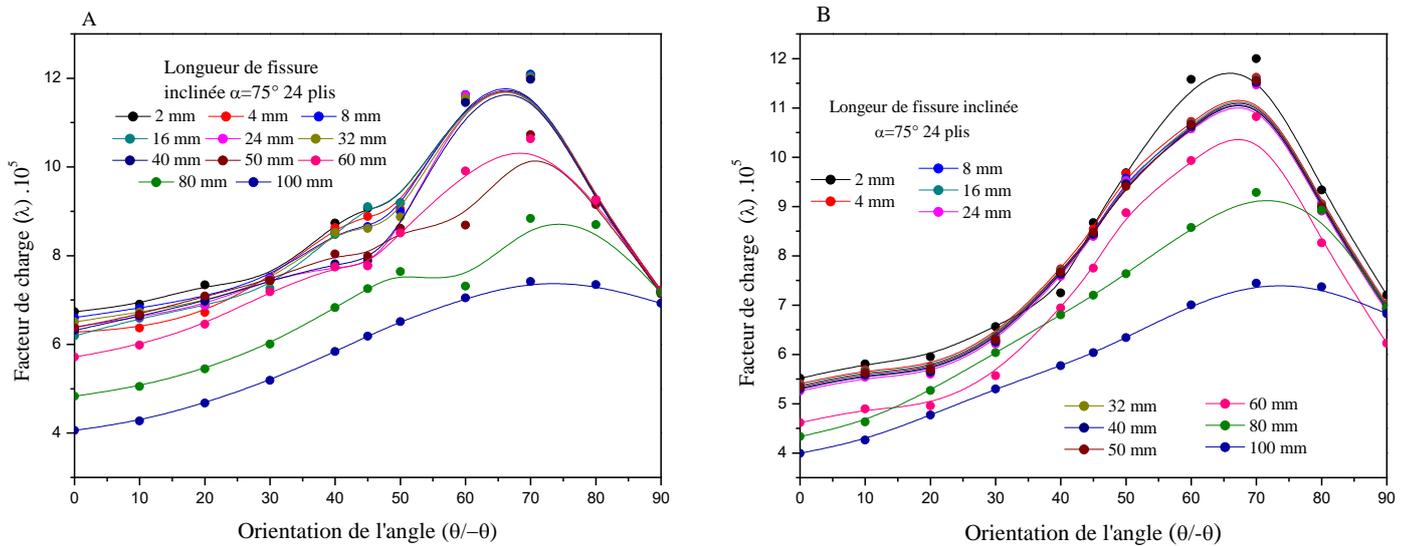


Fig. II.55. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d’orientation des plis θ pour 24 plis

Sur les figures II. (53,54et55), on montre l’effet de la taille de la fissure inclinée à 75° en fonction de l’angle des plis θ avec A) une orientation de fibres symétrique et B) orientation de fibres antisymétriques. Les angles d’orientations des plis sont (0°, 10°, 20°, 30°, 40°, 45°, 50°, 60°, 70°, 80° et 90°). Il est à noter que l’allure de facteur de charge augmente avec la réduction de la taille de la fissure par rapport au rayon du pipe.

On constate que λ prend la valeur maximale pour une taille de fissure petite avec de l’angle de l’orientation atteint la limite de $\theta = 70^\circ$ qui représente une meilleure résistance dans le cas symétrique et antisymétrique pour [12 et 24] plis hormis le cas de 06 plis symétrique , on a une bonne résistance à $\theta=20^\circ$ et la plage des orientations de fibres 50°, 60°, et 70° il y’a une stabilité pour toutes les longueurs sauf les tailles $a=100\text{mm}$ et 80mm . Et le cas antisymétrie de 06 plis garde les mêmes conditions que 12 et 24 plis sauf les tailles $a=100\text{mm}$; 80mm et 60mm , λ atteint sa valeur maximale à l’angle 90° .

II.4.2.2.6. Influence de la fissure transversale

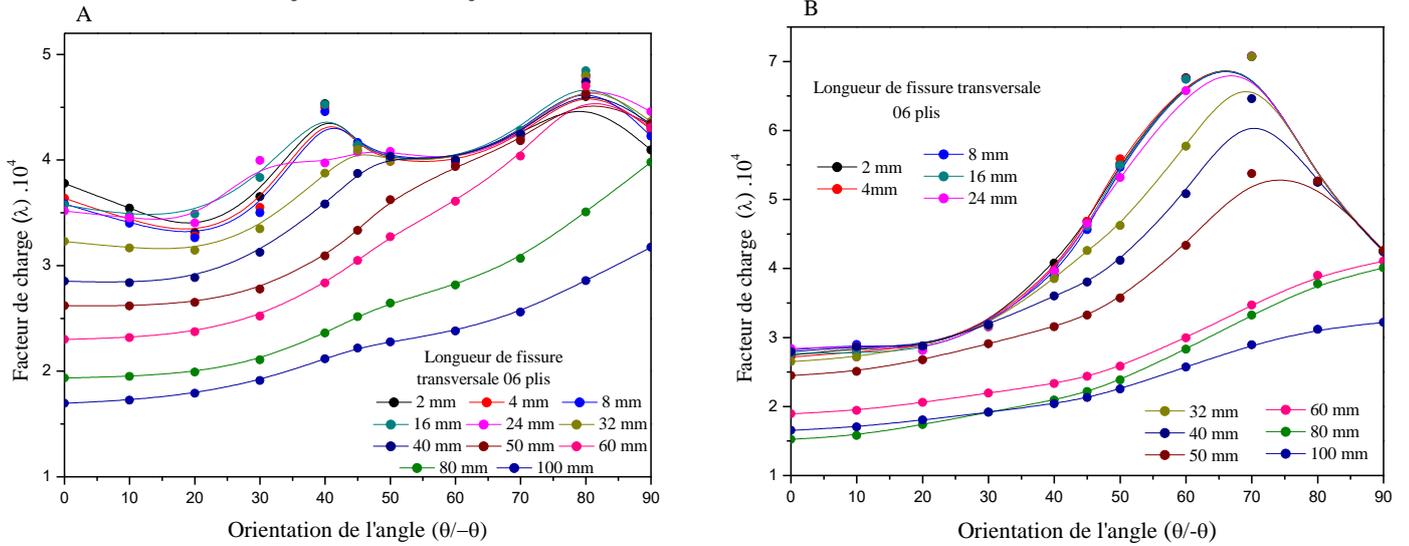


Fig. II.56. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

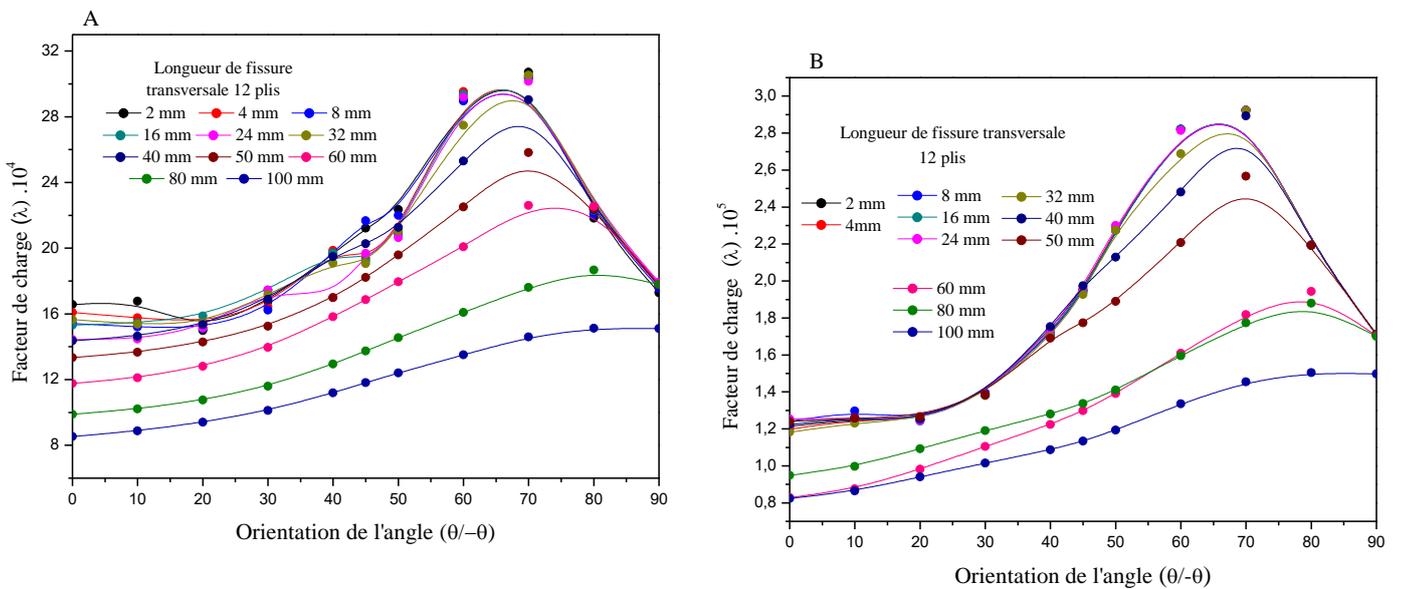


Fig. II.57. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

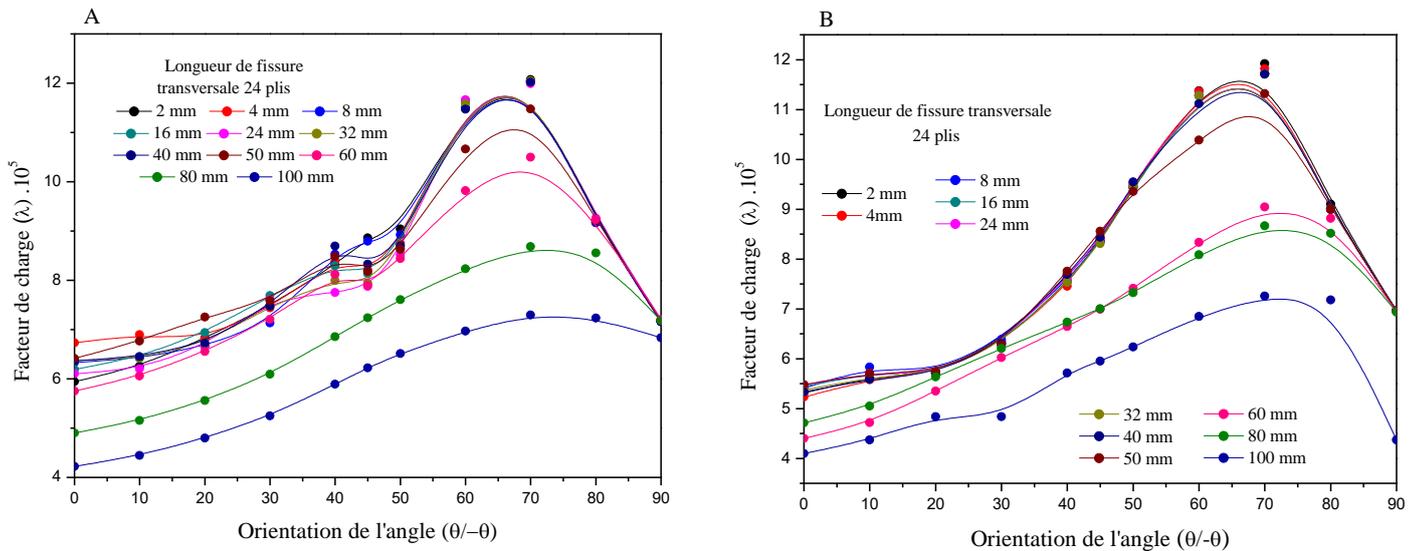


Fig. II.58. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Sur les figures II (56,57 et 58), on illustre l'effet de la taille de la fissure transversale en fonction de l'angle des plis θ avec A) une orientation de fibres symétrique et B) orientation de fibres antisymétriques. Les angles d'orientations des plis sont ($0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$ et 90°). Il est à noter que l'allure de facteur de charge augmente avec la réduction de la taille de la fissure par rapport au rayon du pipe.

On constate que λ prend la valeur maximale pour une taille de fissure petite avec de l'angle de l'orientation atteint la limite de $\theta = 70^\circ$ qui représente une meilleure résistance dans le cas symétrique et antisymétrique pour [12 et 24] plis hormis le cas de 06 plis symétrique, on a une bonne résistance à $\theta=20^\circ$ et la plage des orientations de fibres $45^\circ, 60^\circ$, et 80° il y'a une stabilité pour toutes les longueurs sauf les tailles $a=100\text{mm}$ et 80mm . Et le cas antisymétrie de 06 plis garde les mêmes conditions que 12 et 24 plis sauf les taille $a=100\text{mm}$; 80mm et 60mm croît sa valeur maximale à l'angle 90° .

II.4.2.3. le troisième cas ($R_1=200$; $R_2=r = \frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{2} d= 100$) mm

II.4.2.3.1. Effet d'angle d'orientation des fibres pour des pipes non fissurés

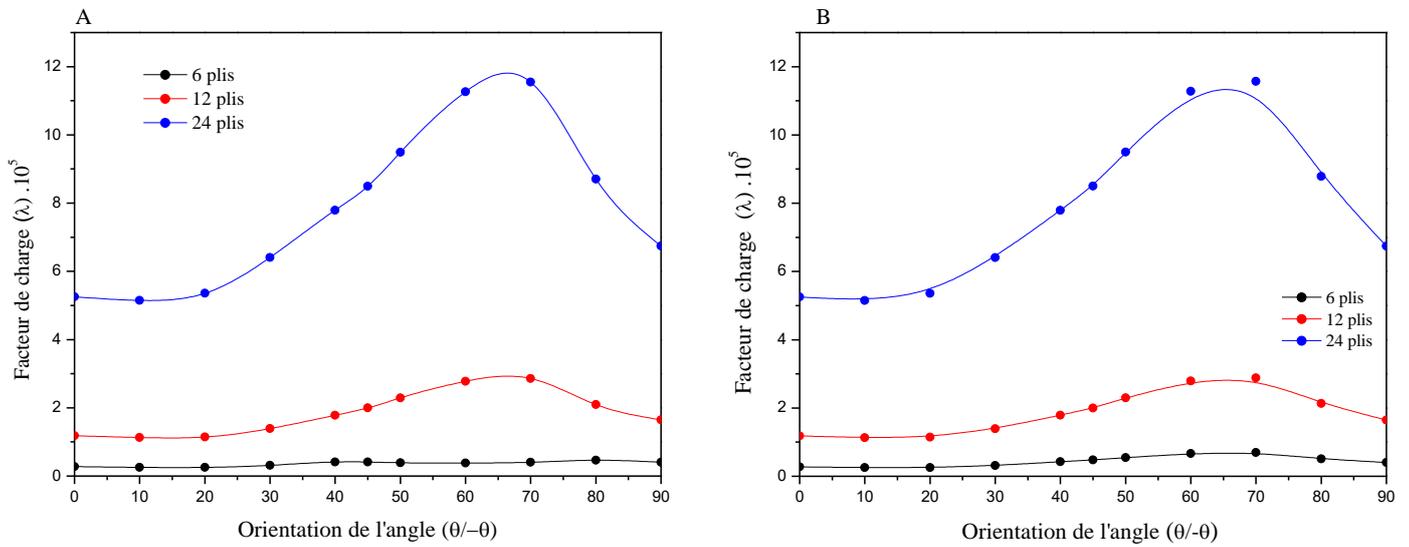


Fig. II.59. Variation du facteur de charge λ en fonction d'orientation des plis θ

II.4.2.3.2. Influence de la fissure longitudinale

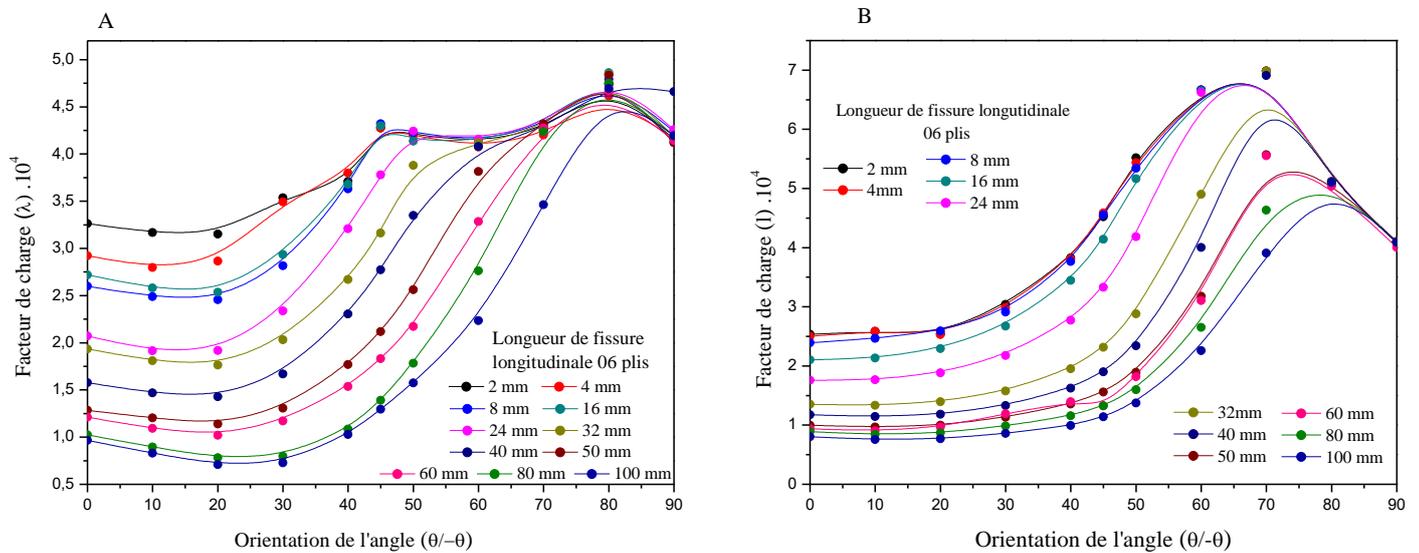


Fig. II.60. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

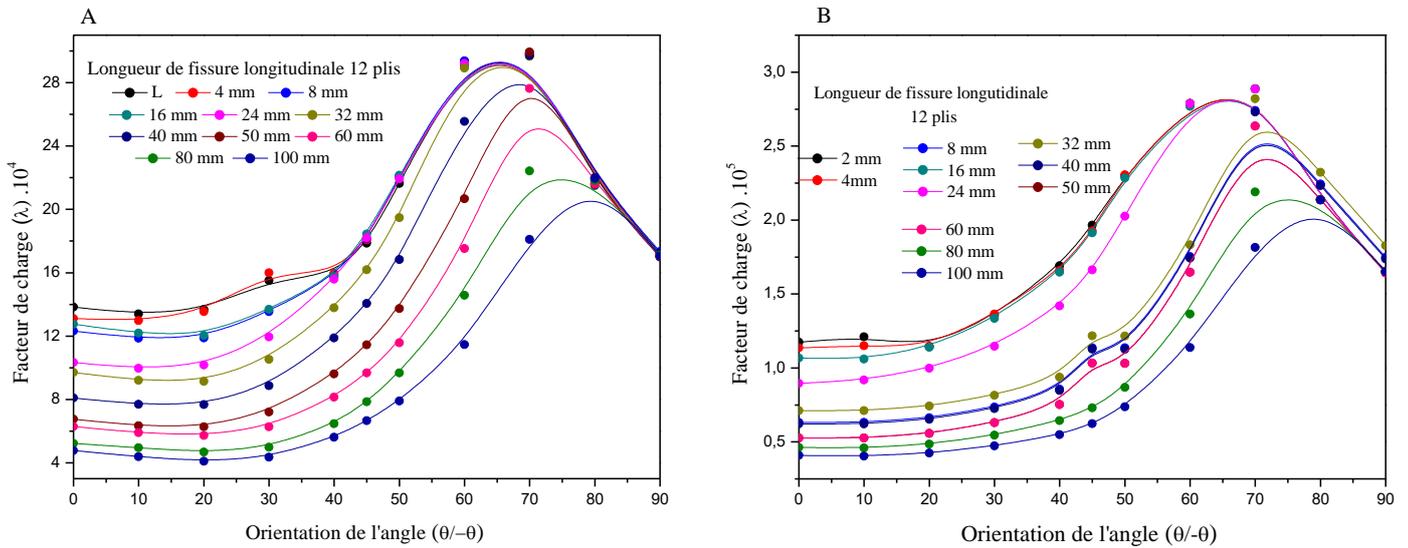


Fig. II.61. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

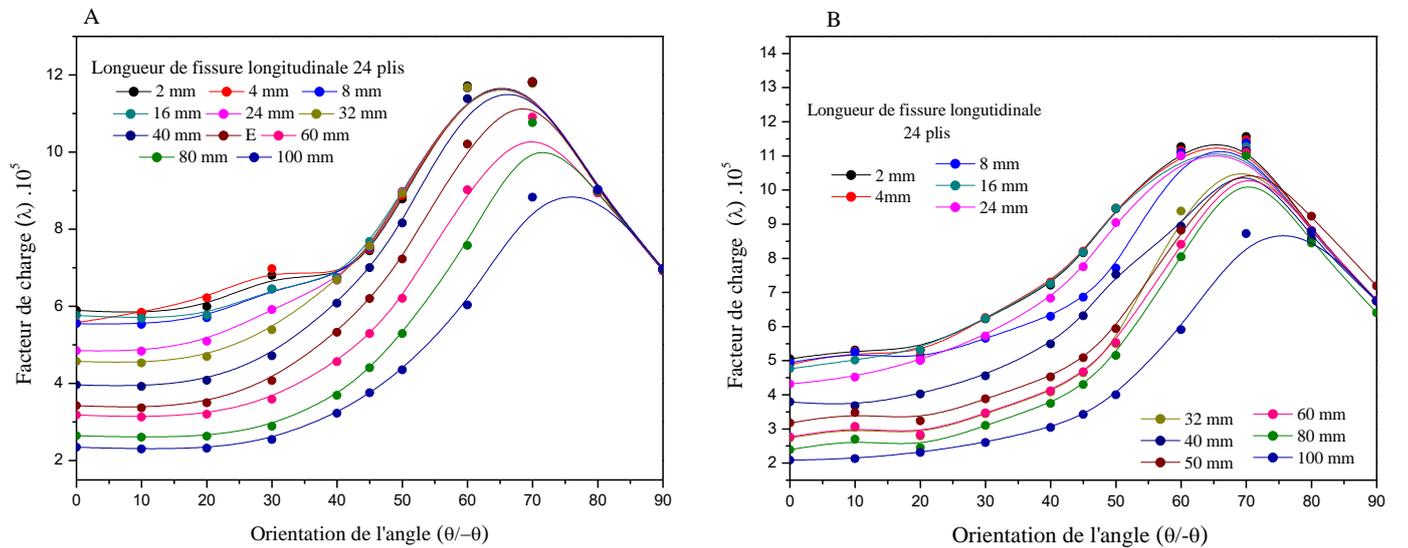


Fig. II.62. Effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Sur les figures II (60,61et62) on montre l'effet de la taille de la fissure longitudinale en fonction de l'angle des plis θ avec A) une orientation de fibres symétrique et B) orientation de fibres antisymétriques. Les angles d'orientations des plis sont ($0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$ et 90°). Il est à noter que l'allure de facteur de charge augmente avec la réduction de la taille de la fissure par rapport au rayon du pipe.

On constate que λ prend la valeur maximale pour une taille de fissure petite avec de l'angle de l'orientation atteint la limite de $\theta = 70^\circ$ qui représente une meilleure résistance dans le cas symétrique et antisymétrique pour [12 et 24] plis hormis le cas de 06 plis symétrique, on a une bonne résistance à $\theta=20^\circ$ et la plage des orientations de fibres $50^\circ, 60^\circ$, et 70° il y'a une

stabilité pour toutes les longueurs sauf les tailles $a=100\text{mm}$ et 80mm . Et le cas antisymétrie de 06 plis garde les mêmes conditions que 12 et 24 plis.

II.4.2.3.3. Influence de la fissure inclinée $\alpha=30^\circ$

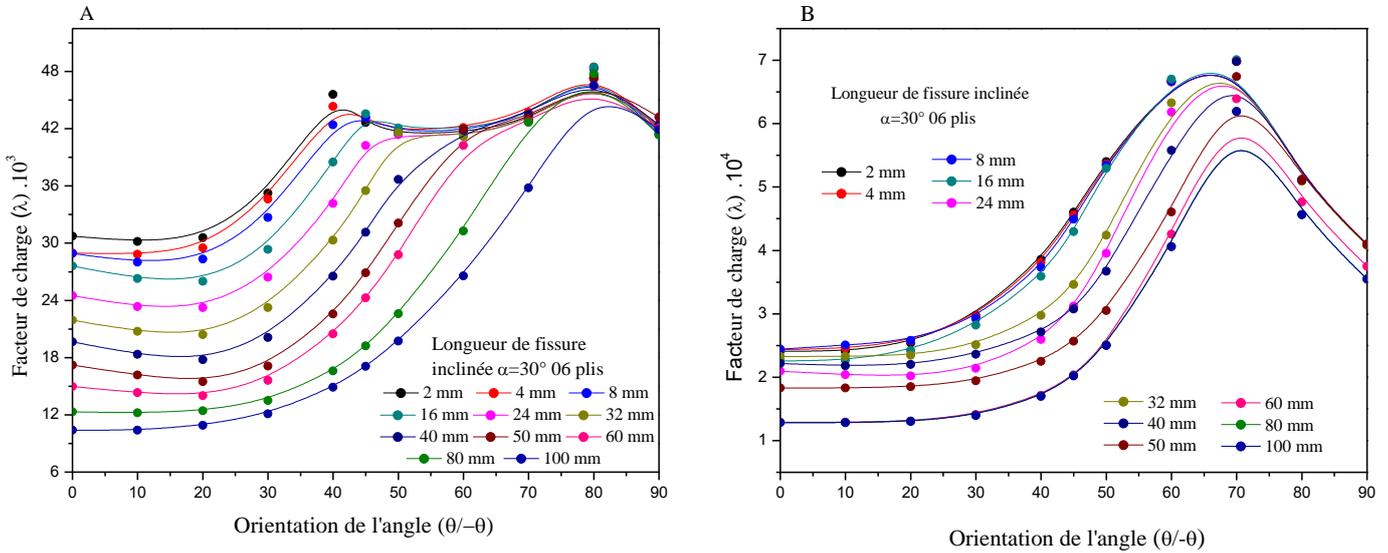


Fig. II.63. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

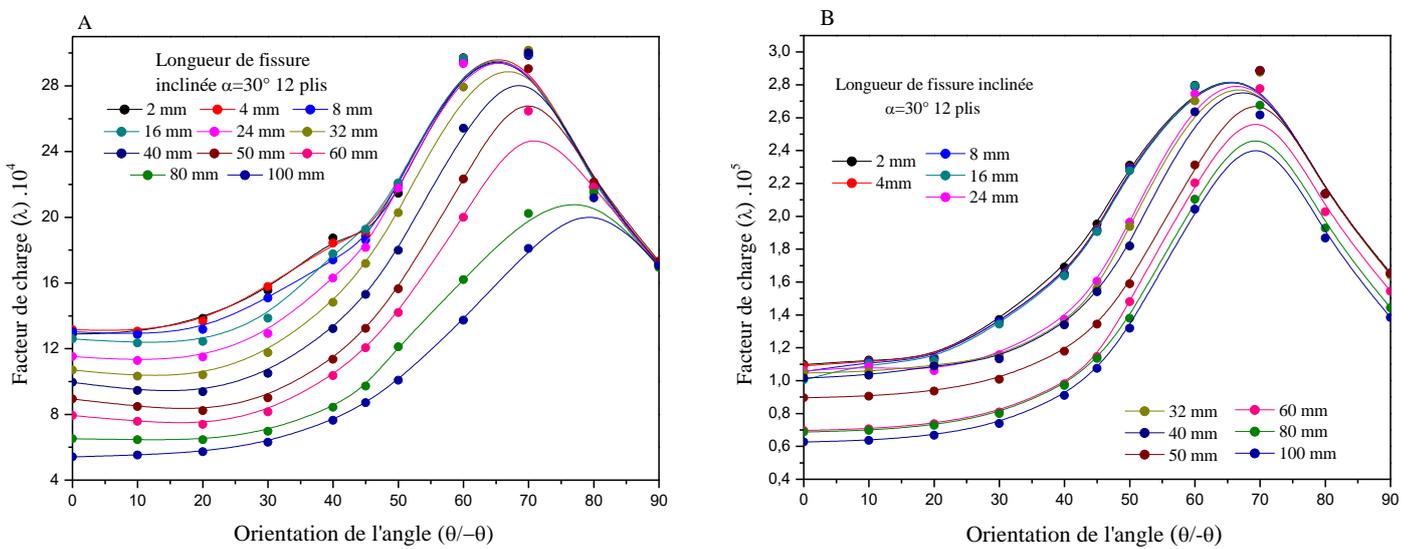


Fig. II.64. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

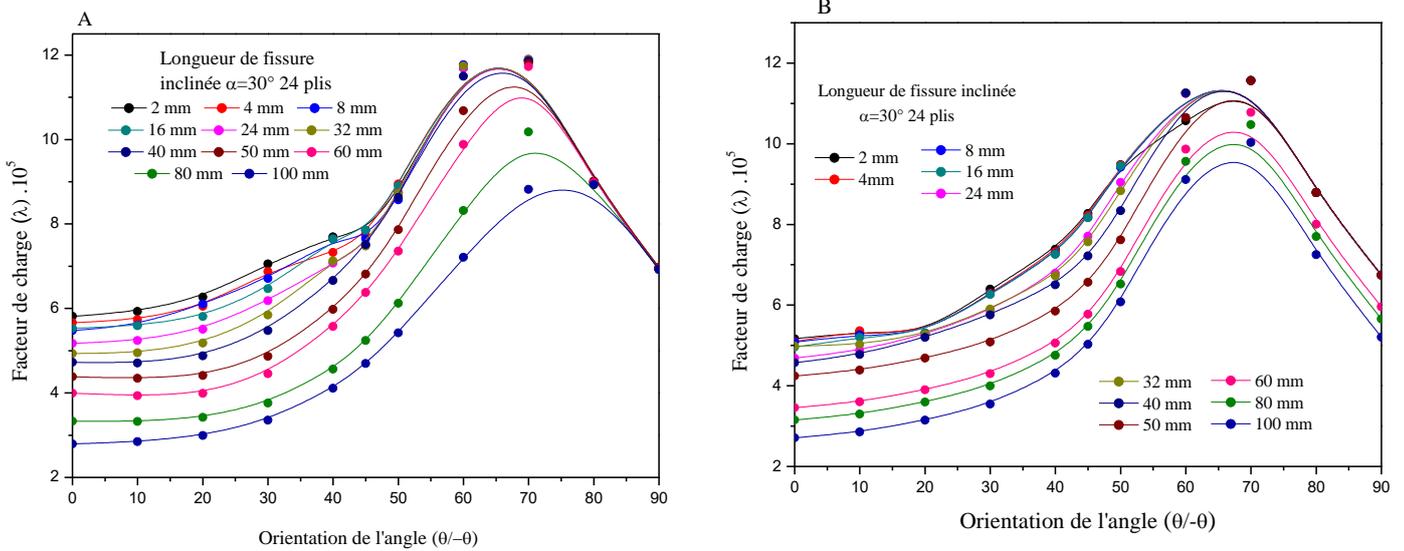


Fig. II.65. Effet de la taille de la fissure inclinée de 30° en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Les figures II. (63, 64 et 65), montrent l'effet de la taille de la fissure inclinée à 30° en fonction de l'angle des plis θ. Il est à noter que l'allure de facteur de charge augmente avec la réduction de la taille de la fissure par rapport au rayon du pipe. Les mêmes constatations sont signalées.

II.4.2.3.4. Influence de la fissure inclinée α=45°

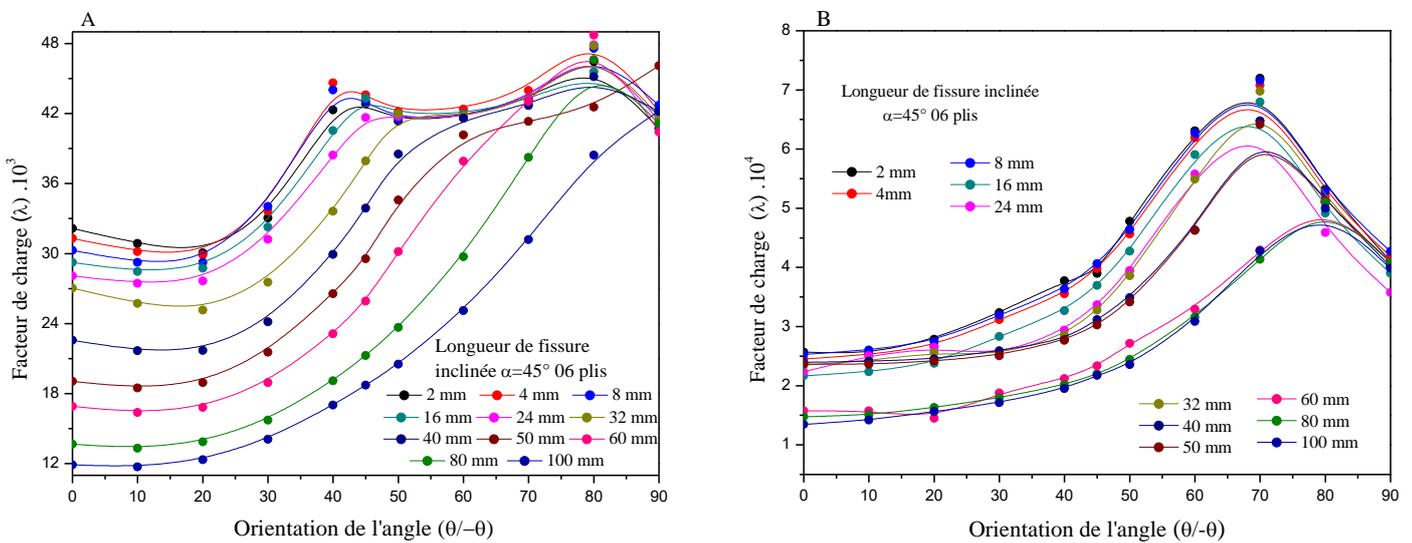


Fig. II.66. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

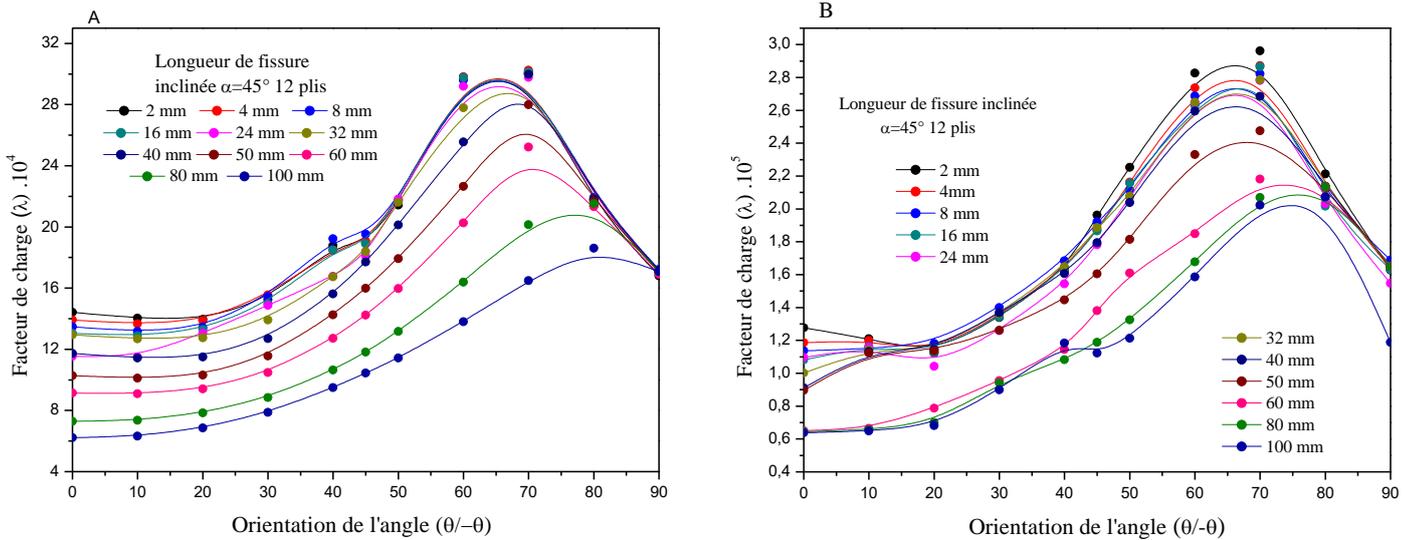


Fig. II.67. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

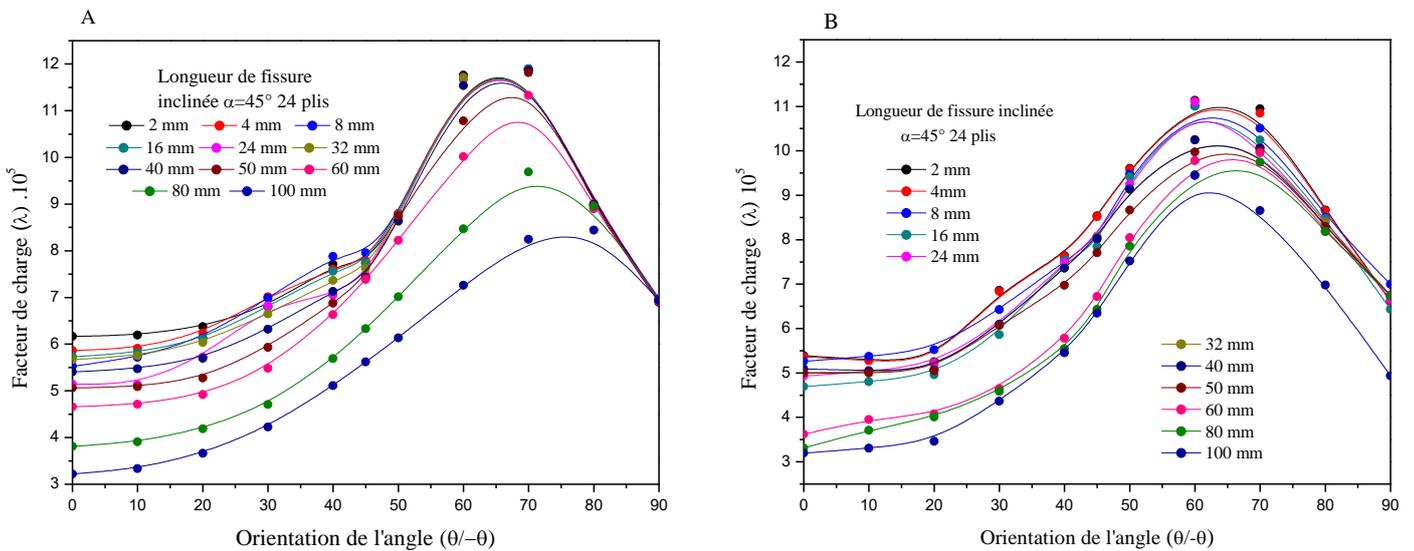


Fig. II.68. Effet de la taille de la fissure inclinée de 45° en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Les figures II. (66,67et68) montrent l'effet de la taille de la fissure inclinée à 45° en fonction de l'angle des plis θ avec A) une orientation de fibres symétrique et B) orientation de fibres antisymétriques. Les angles d'orientations des plis sont (0°, 10°, 20°, 30°, 40°, 45°, 50°, 60°, 70°, 80° et 90°). On note que l'allure de facteur de charge augmente avec la réduction de la taille de la fissure par rapport au rayon du pipe.

Il bien évident que λ prend la valeur maximale pour une taille de fissure petite avec de l'angle de l'orientation atteint la limite de $\theta = 70^\circ$ qui montre une meilleure résistance dans le cas symétrique et antisymétrique pour [12 et 24] plis. Le cas de 06 plis symétriques, on a une bonne résistance à $\theta=20^\circ$ et la plage des orientations de fibres 50°-70° il y'a une stabilité pour

toutes les longueurs sauf les tailles de fissure $a=100\text{mm}$ et 80mm . Dans le cas antisymétrie de 06 plis λ augmente et sa valeur maximale à l'angle 70° .

II.4.2.3.5. Influence de la fissure inclinée $\alpha=75^\circ$

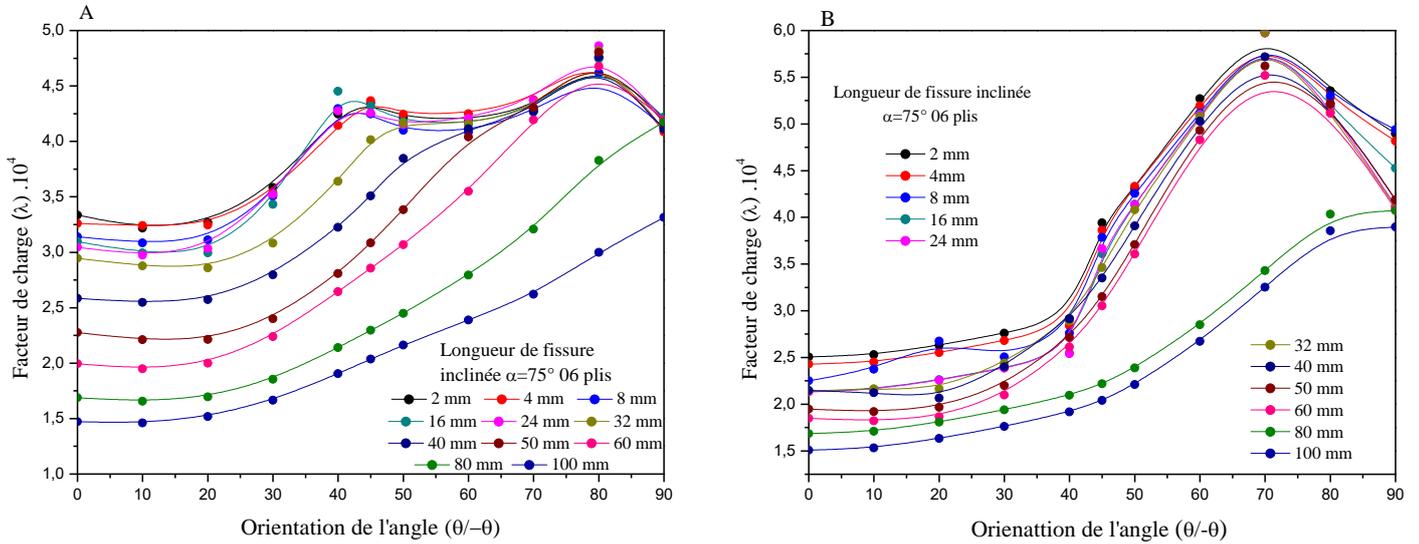


Fig. II.69. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ pour 06 plis

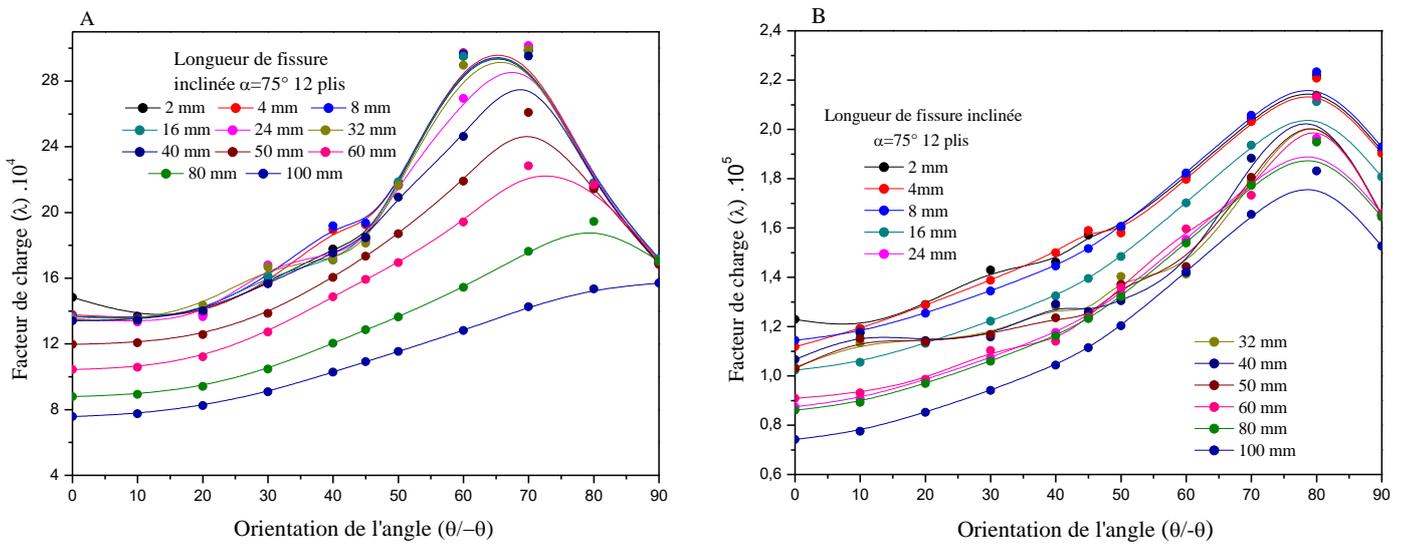


Fig. II.70 Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

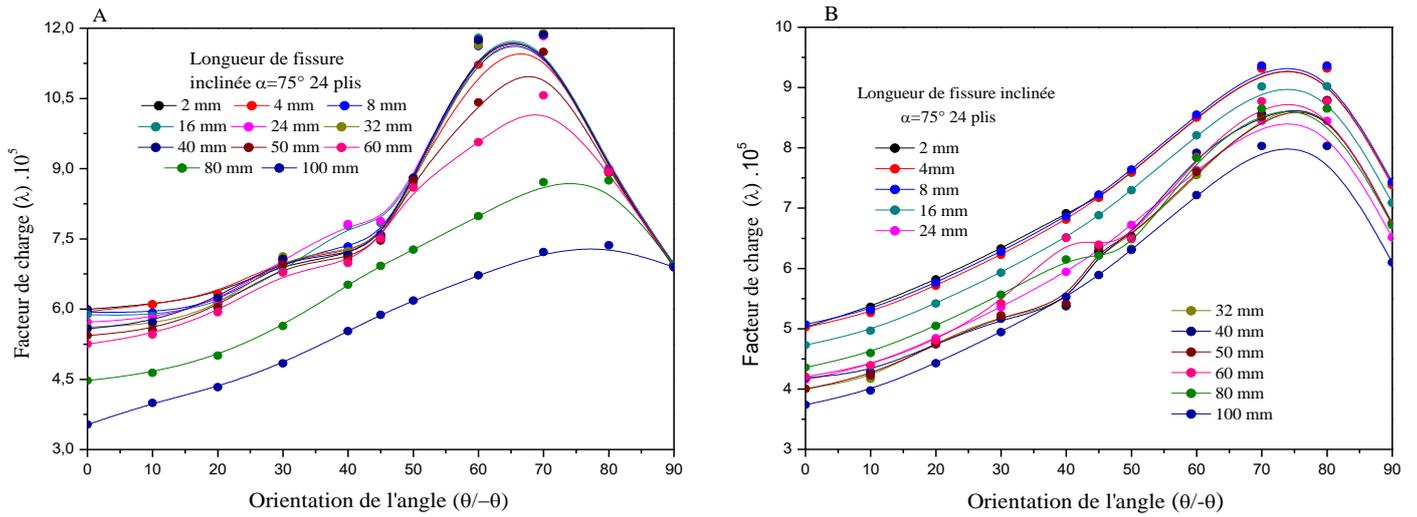


Fig. II.71. Effet de la taille de la fissure inclinée de 75° en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Les figures II. (69,70et71), on montre l'effet de la taille de la fissure inclinée à 75° en fonction de l'angle des plis θ avec A) une orientation de fibres symétrique et B) orientation de fibres antisymétriques. Il est à noter que l'allure de facteur de charge augmente avec la réduction de la taille de la fissure.

On constate que λ prend la valeur maximale pour une taille de fissure petite avec l'angle de l'orientation atteint la limite de $\theta = 70^\circ$ qui représente une meilleure résistance dans le cas symétrique et antisymétrique pour [12 et 24] plis. Hormis le cas de 06 plis symétrique, la bonne résistance est à $\theta=20^\circ$ et la plage des orientations de fibres 50-70° il y'a une stabilité pour toutes les longueurs de fissure sauf les tailles $a=100\text{mm}$ et 80mm . Et le cas antisymétrie de 06 plis, λ croît et sa valeur maximale est à l'angle 70° sauf les tailles $a=100\text{mm}$ et 80mm où les valeurs maximales sont à 90° .

II.4.2.3.6. Influence de la fissure transversale

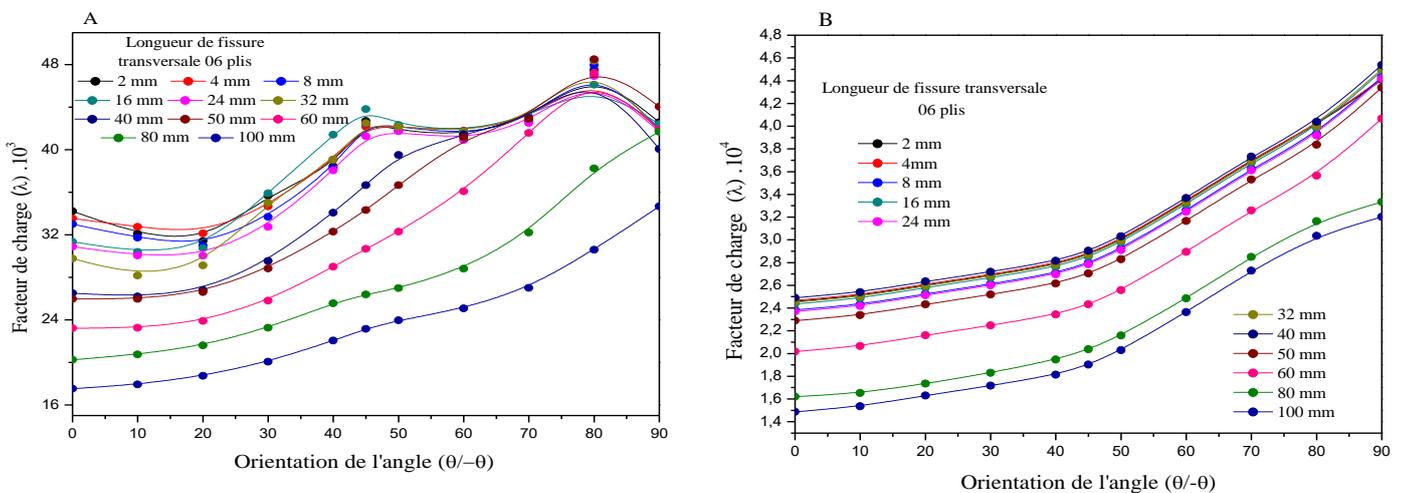


Fig. II.72. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ pour des 06 plis

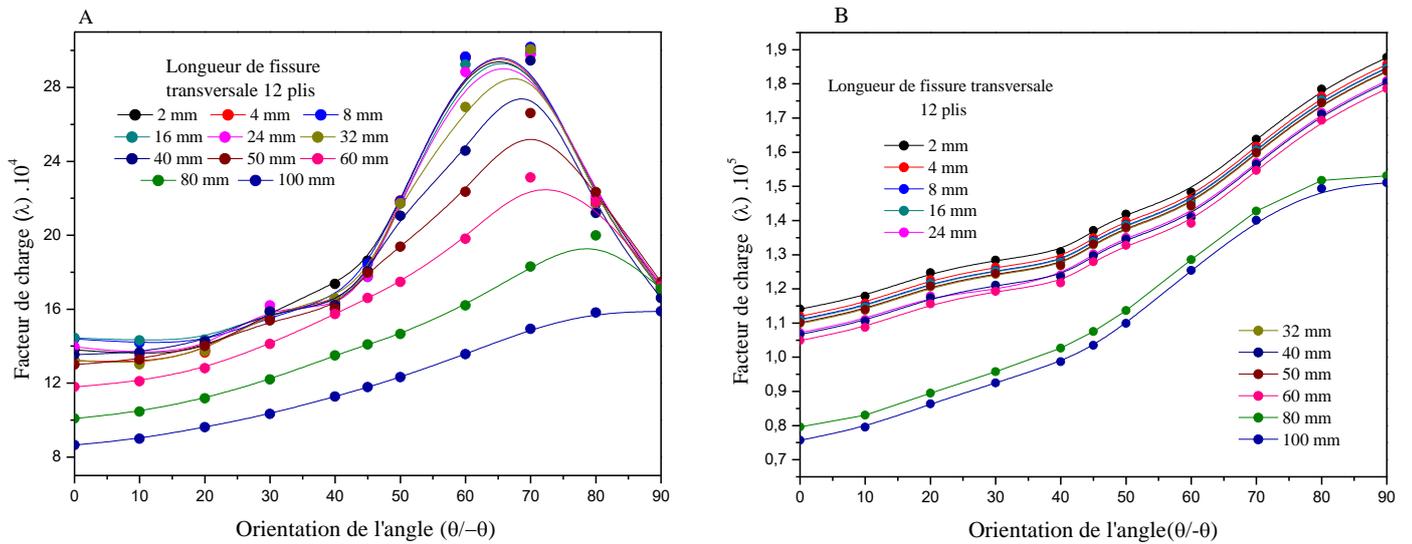


Fig. II.73. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ pour 12 plis

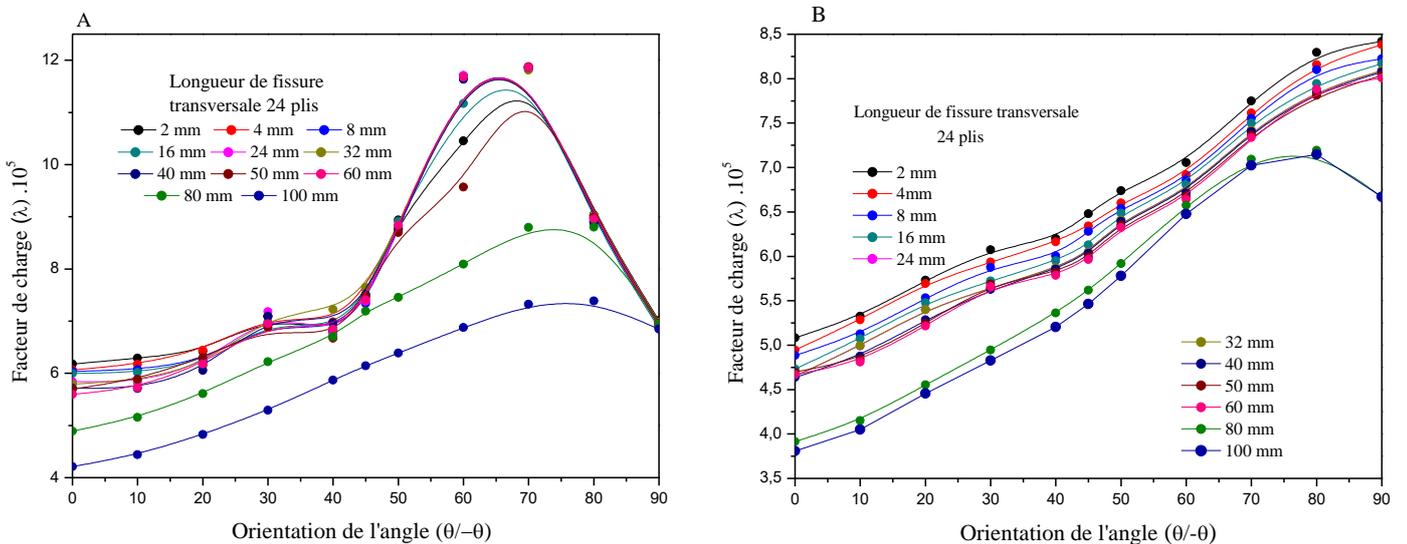


Fig. II.74. Effet de la taille de la fissure transversale en fonction d'orientation des plis θ pour 24 plis

Les figures (72,73 et 74) on montre l'effet de la taille de la fissure transversale en fonction de l'angle des plis θ avec A) une orientation de fibres symétrique et B) orientation de fibres antisymétriques. Les mêmes notes sont à signaler. λ prend la valeur maximale pour une taille de fissure petite avec de l'angle de l'orientation de $\theta = 70^\circ$ qui représente une meilleure résistance dans le cas symétrique pour [12 et 24]. Pour le cas antisymétrique l'allure croît et attient sa valeur maximale à l'angle 90° pour [06 ,12 et 24] plis, le cas de 06 plis symétriques, on a une bonne résistance à $\theta=80^\circ$ et la plage des orientations de fibres $50-70^\circ$ il y'a une stabilité pour toutes les longueurs sauf les tailles $a=100\text{mm}$ et 80mm .

conclusion

Nous avons effectué une analyse de la valeur du facteur de charge sur le comportement de flambage linéaire des pipes cylindrique et conique avec des fissures simples et multiples à l'aide du méthode des éléments finis sous compression axiale. Les constatations triées des différents paramètres analysés sont :

- L'augmentation de la taille de fissure conduit à la réduction de la charge de flambement,
- L'effet de localisation de la fissure parallèle à l'axe du pipe, perpendiculaire et inclinée sur la charge de flambage est nocif sur la charge portante.
- L'effet de l'orientation des fibres symétriques et antisymétriques induit un facteur significatif sur la charge de flambement.

Les résultats donnent une idée sur le comportement au flambement des pipes cylindriques et coniques avec défauts linéaires.

Références bibliographiques

- [1] DA SILVA A., Flambage des coques cylindriques minces sous chargements combinés : pression interne, compression, flexion et cisaillement. Thèse de Doctorat en génie civil. Institut National des sciences appliquées de Lyon, 2011, pp20.
- [2] RADHI A., Flambage des coques cylindrique sous pression influence des conditions aux limites et des défauts .Thèse de Doctorat en génie Mécanique. Université de METZ, 1989, pp8.
- [3] A.VAZIRI ET H.E.ESTEKANCHI., Buckling of cracked cylindrical thin shell under combined internal pressure and axial compression. Thin-Walled Structures 44 (2006) 141–151, 2006.
- [4] MOUAS Mohamed Reda., Etude expérimentale d'un matériau composite stratifié à fibres de kevlar en flexion trois points. Mémoire de Master en génie mécanique avancée. Université de Annaba, 2016, pp6.
- [5] MEKIDECHE S., Valorisation des déchets comme constituants des Bio-Composite. Mémoire de Master en génie Mécanique. Université de M'sila 2018, pp 4.
- [6] MOHAMADI Saddika, Matériaux et Ouvrages de Génie Civil, 2014, pp1 et 3
- [7] HUU KIEN B., Contribution à la modélisation multiphasique des matériaux composites stratifiés. Thèse de doctorat en génie électrique. Université de Nantes, FRANCE 2014, pp 56.
- [8] CEDRIC M., Flambage sous flexion et pression interne de coque cylindrique minces, Thèse de doctorat en génie civil. Institut National des sciences appliquées de Lyon, 2004, pp (25-26).
- [9] JEROME D., Etude du comportement au flambage coque cylindrique multicouches Métal/Matériaux Mousse sous chargement combinés pression interne /cisaillement/flexion, Thèse de Doctorat. Institut National des sciences appliquées de Lyon, 2014, pp (15).
- [10] T. H. G. MEGSON., Structural and stress analysis. Oxford auckland boston johansburg melborne, New Delhi, 1996, pp170.
- [11] LEMAITRE.J., <https://www.universalis.fr/encyclopedie/resistance-des-materiaux/5-instabilite-de-flambement>. Consulté le 22/04/2020.
- [12] B. HAGHPANAH JAHROMI, A. VAZIRI., Instability of cylindrical shells with single and multiple cracks under axial compression. Thin-Walled Structures 54 (2012) 35–43, pp36, 2012.

[14] H. ALLAHBAKSH ET A. DADRASI., Buckling Analysis of Laminated Composite Panel with Elliptical Cutout Subject to Axial Compression, Mechanical Department, Islamic Azad University, Shahrood Branch, Shahrood, Iran, pp 3, 2012.