



**HAL**  
open science

## Etude de la cinétique d'endommagement en matage des composites à renforts tissés

Gregory Aldebert, Frederic Lachaud, Jacques Huet, Robert Piquet

### ► To cite this version:

Gregory Aldebert, Frederic Lachaud, Jacques Huet, Robert Piquet. Etude de la cinétique d'endommagement en matage des composites à renforts tissés. 17èmes Journées Nationales sur les Composites (JNC17), Jun 2011, Poitiers-Futuroscope, France. pp.58. hal-00603122

**HAL Id: hal-00603122**

**<https://hal.science/hal-00603122>**

Submitted on 24 Jun 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Etude de la cinétique d'endommagement en matage des composites à renforts tissés

## *Progressive damage of woven composite under bearing strength*

**Gregory Aldebert<sup>1</sup>, Frédéric Lachaud<sup>1</sup>, Jacques Huet<sup>1</sup>, Robert Piquet<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> : Université de Toulouse, UPS, INSA, Mines Albi, ICA, ISAE,  
10 Avenue Edouard Belin, 31055 TOULOUSE

E-mail: [gregory.aldebert@isae.fr](mailto:gregory.aldebert@isae.fr); [frederic.lachaud@isae.fr](mailto:frederic.lachaud@isae.fr); [jacques.huet@isae.fr](mailto:jacques.huet@isae.fr); [robert.piquet@isae.fr](mailto:robert.piquet@isae.fr)

### Résumé

L'objectif de ces travaux de recherche est d'étudier le comportement en matage d'un composite tissé satin 5. Un protocole expérimental a été mis en place afin de pouvoir observer différentes cinétiques d'endommagement. Ces observations sont effectuées à différents stades clé de la détérioration du matériau. Elles apportent ainsi des informations supplémentaires sur l'influence de la structure interne du matériau dans les mécanismes de rupture.

### Abstract

The aim of this research is to study the failure behavior of a 5-harness woven composite under bearing strength. An experimental protocol has been tested to observe the composite damage kinetics. Those observations are made at important step in the failure material. They provide additional information to the link between the internal material structure and the failure mechanisms.

**Mots Clés :** Composite tissé, matage, endommagement, assemblage

**Keywords :** Textile composite, bearing strength, failure behaviour, fastener

## 1. Introduction

Les matériaux composites sont largement répandus dans le domaine aéronautique, principalement pour leur légèreté et leur résistance mécanique. Pour certaines pièces de forme complexe, les composites à renforts tissés s'avèrent être plus adaptés, car ces derniers offrent une meilleure drapabilité. De plus, leur géométrie interne proche de celles des textiles, leur assure une meilleure tenue aux chocs.

Lors de la construction des avions, les structures composites sont généralement assemblées par fixation mécaniques. Ces techniques d'assemblages sont restées jusqu'à présent les plus fiables (faible confiance au collage), les moins coûteuses et les plus simples à mettre en œuvre. En revanche, elles entraînent des concentrations de contraintes ainsi que des efforts de matage importants. L'étude des assemblages est donc une étape essentielle dans le dimensionnement des structures aéronautiques.

## 2. Matériau

Le matériau utilisé pour cette étude est un tissu satin 5 en carbone HR pré-imprégné de résine époxyde modifiée à ténacité améliorée par ajout de thermoplastique. La référence de l'imprégnateur est G803/914. La désignation G803 signifie que la texture satin est réalisée par des fils de carbone HR et que chaque fil contient 3000 filaments. La 914 est une résine de 2<sup>ème</sup> génération encore utilisée sur certains avions. Pour notre étude, des stratifiés de 8 plis ont été fabriqués. Pour l'ensemble des éprouvettes, la séquence d'empilement est constituée de 100% de fils de chaîne à 0°. Un pli mesure en moyenne 0,31 mm d'épaisseur, les stratifiés étudiés ont donc une épaisseur avoisinant 2,5mm. Les propriétés des mèches constituant le matériau sont celles de la T300.

## 3. Objectif de l'étude

Le travail présenté ici s'inscrit dans un sujet de thèse destiné à modéliser le comportement d'un assemblage simple cisaillement boulonné représentatif d'une liaison rencontrée au sein d'une structure aéronautique. L'objectif est de prédire la contrainte de matage admissible de l'assemblage en fonction des différents paramètres (dimension des plaques, position du perçage, type de fixation, serrage, jeu etc...).

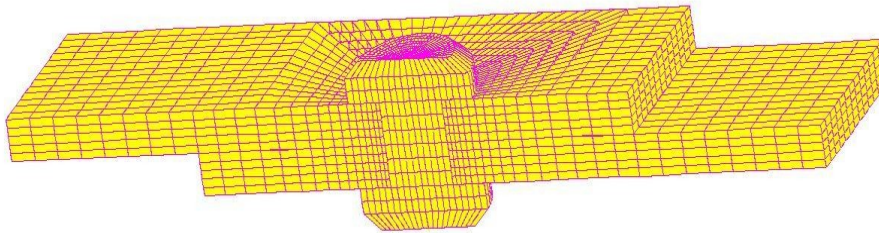


Figure 1. Modèle EF d'un assemblage simple cisaillement sous SAMCEF

De nombreux modèles éléments finis sont capables de prédire le comportement des assemblages simple cisaillement dans le cas des structures métalliques et des structures composites à renforts unidirectionnels [1] [2]. En effet, la littérature propose de nombreuses méthodes numériques permettant de modéliser l'endommagement des composites à renforts unidirectionnels. De plus, plusieurs type de lois ont été implémentées dans différents codes éléments finis. En revanche, l'endommagement des composites tissés, qui possèdent une structure interne particulière a peu été étudié. Nous souhaitons donc proposer une méthode permettant de construire une loi d'endommagement pour ce type composite.

Dans le cas des assemblages étudiés, le matériau possède des mèches dont la dimension est proche de la taille de la zone de contact du boulon. La compression, ici sens chaîne, dit "matage" par analogie avec le fonctionnement des assemblages métalliques, génère alors des phénomènes d'endommagement locaux et nécessite un modèle adapté. C'est la raison pour laquelle nos recherches se sont orientées vers l'élaboration d'une maille élémentaire de satin 5 sur laquelle nous souhaitons implémenter des lois d'endommagement pour les mèches et des éléments de rupture dans les interfaces susceptibles de modéliser le délaminage.

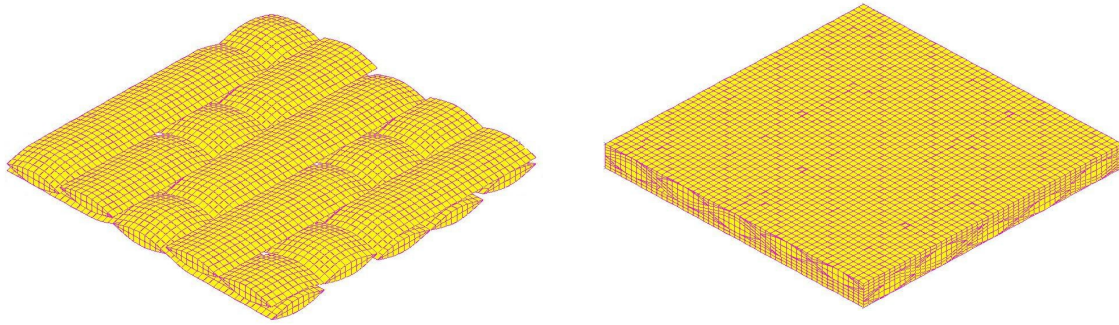


Figure 2. Maille élémentaire d'un tissu satin 5 avec (droite) et sans matrice (gauche)

Le travail présenté ici est un travail préliminaire qui consiste à tester les lois d'endommagement qui seront implémentées dans le modèle présenté dans la figure 2. Pour cela, nous avons mis en place un protocole expérimental.

#### 4. Protocole expérimental

Comme nous l'avons expliqué précédemment, une des difficultés majeure dans l'approche décrite est l'élaboration des lois d'endommagement qui dépendent souvent de paramètres numériques n'ayant pas directement de sens physique. Lors des essais en double cisaillement, souvent utilisés pour la caractérisation de matériaux soumis à des efforts de matage [3] [4], un des inconvénients majeur est l'absence d'informations concernant l'évolution de l'endommagement au sein de ce dernier. Afin d'obtenir des renseignements phénoménologiques supplémentaires, un protocole expérimental (figure 3) qui peut nous renseigner sur les causes de dispersion des résultats a été créé.

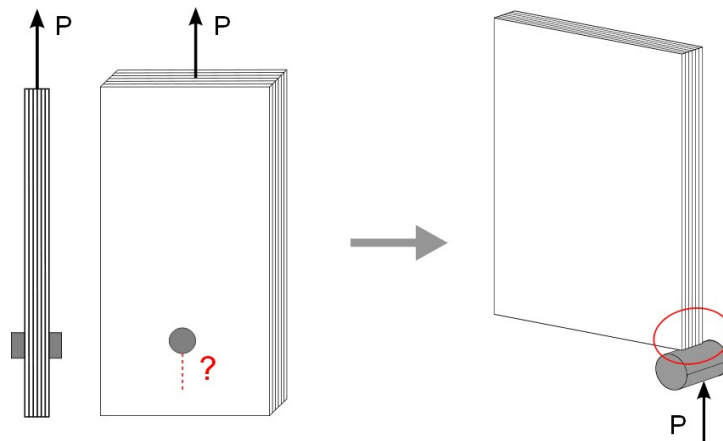


Figure 3. Représentation schématisée du protocole expérimental

Afin de pouvoir observer les mécanismes d'endommagement, des éprouvettes ont été découpées puis polies sur les surfaces à observer. Lors des essais, réalisés l'aide d'une machine de traction Instron 100 kN, le talon de l'éprouvette est maintenu par le mors supérieur de la machine. Un pion cylindrique en métal, représentatif du fût du boulon, qui a pour rôle de générer le matage est fixé au mors inférieur de la machine de traction à l'aide d'un support adapté. Durant l'essai, la machine est pilotée en déplacement afin de générer une compression et un microscope optique permet de prendre des clichés à intervalles réguliers de déplacements machine (figure 3). Des photos de profil (figure 4) permettent de vérifier l'alignement du bord de l'éprouvette par rapport au pion pendant le déroulement de l'essai.

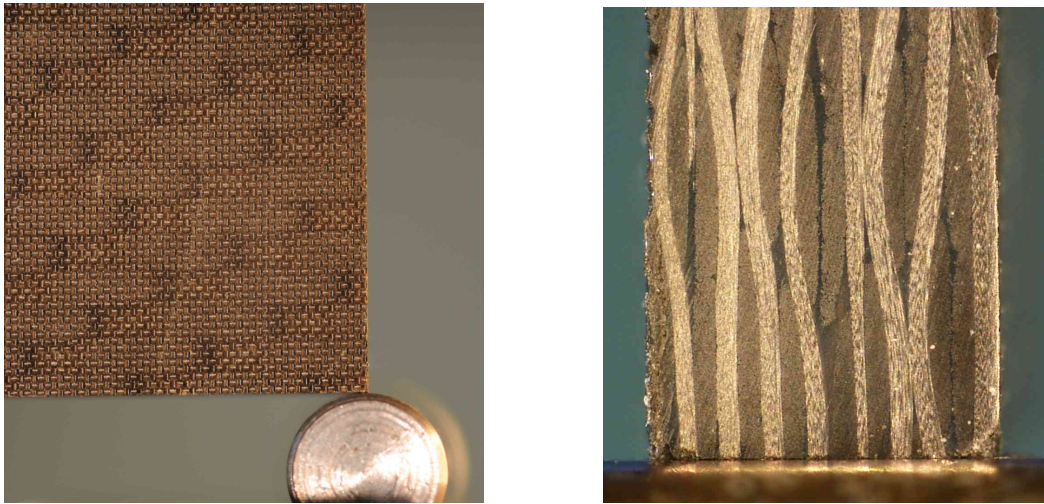


Figure 4. Vue de face (gauche) et vue de profil du dispositif d'essai (droite)

## 5. Cinétique d'endommagement

Cette campagne d'essai a été effectuée sur une dizaine d'éprouvettes découpées dans une même plaque de composite. Chaque essai a ainsi permis d'observer les cinétiques d'endommagement associées aux courbes d'effort-déplacement. Nous présenterons ici deux essais qui ont été sélectionnés dans le but de montrer la dégradation d'éprouvettes qui présentent une configuration locale des empilements de plis particulière au niveau de la zone de contact du pion. En effet, le tissage d'un satin 5 étant constitué enchevêtrements périodiques et la juxtaposition des plis n'étant pas maîtrisés lors de la fabrication, chaque éprouvette revêt ainsi une structure interne qui lui est propre (amplitude et position relative des ondulations). La figure 5 montre la courbe d'effort déplacement des éprouvettes 1 et 2 dont la structure interne est photographiée respectivement sur les figures 6 et 7.

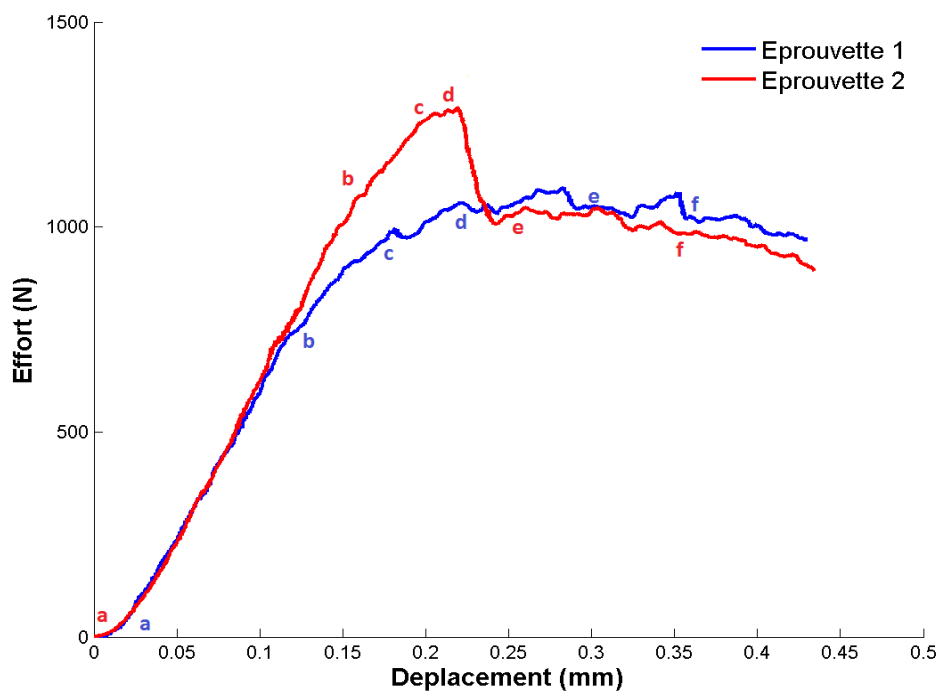


Figure 5. Courbe d'effort déplacement

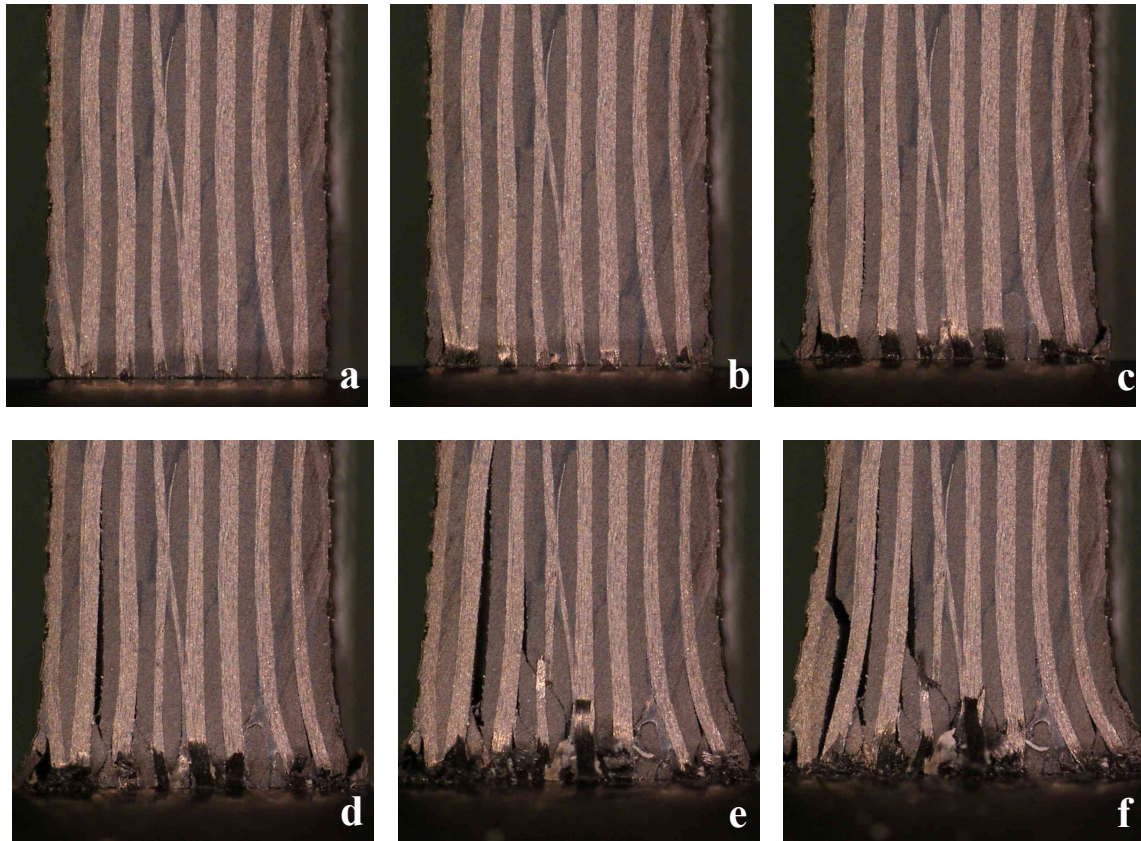


Figure 6. Cinétique d'endommagement de l'éprouvette 1

La figure 6 met en évidence les mécanismes de rupture de l'éprouvette 1 dont la disposition des mèches est relativement droite. Cette configuration est rarement rencontrée et permet d'observer les mécanismes d'endommagement des mèches faiblement ondulées (a).

La première dégradation observée est un gonflement des mèches au niveau du fût du boulon, ce phénomène est lié aux effets de bord et ne pourrait survenir lors d'un essai normalisé, il ne peut donc pas être considéré comme un mode de rupture caractéristique. En revanche, un premier dé laminage est observé alors que l'effort de matage représente environ 60% de l'effort maximal supporté par l'éprouvette (b).

On note ensuite un dé laminage significatif intervenant à une position éloignée du boulon, ce qui semble indiquer que des contraintes critiques sont générées en amont du boulon (c).

Suite à cette fragilisation, survient alors une dégradation plus globale de l'éprouvette, les fibres, à présent non confinées par la matrice flambent localement, ce qui induit une chute brutale de raideur, l'éprouvette ne peut alors plus supporter d'effort supplémentaire. Puis, la matrice, reprenant les efforts jusqu'alors supportés par la fibre rompt en compression, ce qui se traduit par une rupture à 45 degrés générée par un cisaillement critique (d).

Les clichés suivants montrent un accroissement de ces phénomènes, certaines fibres subissent une accentuation du flambement alors que d'autres sont rompues par cisaillement dans la continuité de la matrice au sein de laquelle se propage les fissures (e-f).

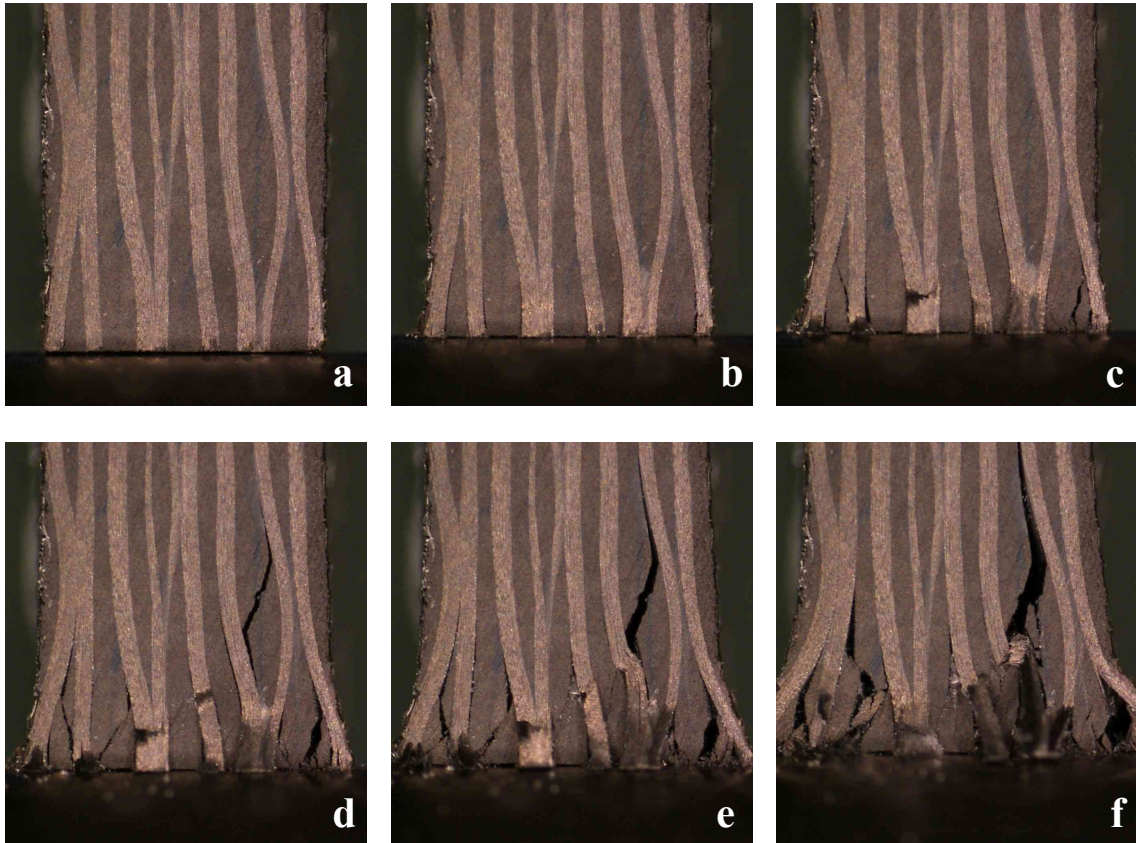


Figure 7. Cinétique d'endommagement de l'éprouvette 2

La figure 7 met en évidence les mécanismes de rupture de l'éprouvette 2 dont la disposition des mèches est fortement ondulée (a).

Contrairement à l'éprouvette 1, la configuration présente regroupe les passages des mèches de la face inférieure à la face supérieure du pli. Dans le cas présent, nous pouvons observer que la première dégradation est un délaminage intervenant dans une zone située à proximité du boulon. Il intervient sur la quasi-totalité des interfaces de l'éprouvette et apparaît de manière presque simultanée. On note en outre que les décollements les plus importants se situent aux extrémités de l'éprouvette, ce qui semble indiquer que le confinement joue un rôle non négligeable dans la cohésion des mèches (b).

On note ensuite une accentuation du délaminage suivit d'une rupture de la matrice sur les zones désolidarisées des mèches. Apparaît alors un flambage hors plan des fibres mais qui intervient cette fois dans une zone plus éloignée du boulon que dans le cas de l'éprouvette 1 (c).

Survient ensuite une rupture brutale d'un amas de résine important (lié à la juxtaposition de deux fortes ondulations) ce qui engendre une chute de raideur importante qui n'a pas été observée dans le cas des mèches faiblement ondulées (d).

Vient ensuite le flambage des fibres contiguës qui occasionne alors une chute brutale de l'effort. Ces ruptures brutales sont caractéristiques des éprouvettes constituées de fortes ondulations (e-f).

## 6. Perspectives

Afin de compléter les travaux expérimentaux présentés ici, un modèle reproduisant la structure complète de l'éprouvette et de l'essai décrit au paragraphe 4 est en construction. Il est basé sur une technique de traitement d'image qui permet de reproduire l'ondulation observées sur le profil de l'éprouvette qui est ensuite extrudée sur quelques millimètres (zone concernées par la dégradation).

Ce modèle permettra d'effectuer des corrélations sur les courbes d'effort-déplacement ainsi que sur les modes de dégradation observés. Il sera utilisé pour tester la pertinence des lois de comportements sélectionnées et des paramètres numériques non-physique associés à ces lois.

L'étape suivante consistera à implémenter les lois sélectionnées dans le modèle reproduisant la maille élémentaire de satin 5 (figure 2). Il pourra alors être testé dans différentes configurations d'assemblage.

Les principaux axes de recherche seront :

- L'identification des zones de rupture du stratifié.
- L'influence de la position du boulon par rapport aux mèches.
- L'influence de la juxtaposition des plis.
- Le comportement du stratifié face à un boulons incliné (forte localisation).
- Le comportement du stratifié pour des sollicitations hors plan.
- Effet d'un serrage sur la tenue au délaminage.

## Références

- [1] Dang-hoang T. Rupture et endommagement d'une assemblage boulonné : approche expérimentale et simulation numérique. Thèse (2009).
- [2] Hühne C, et al. Progressive damage analysis of composite bolted joints with liquid shim layers using constant and continuous degradation models. Composites Structures (2010).
- [3] Icten B.M. Progressive failure analysis of pin-loaded carbon-epoxy woven composite plates. Composites science and technology (2002).
- [4] Okutan B. The strength of pinned joints in laminated composites. Composites science and technology (2003).