



**HAL**  
open science

## Comportement spécifique de structures 3D interlock tissées contre les impacts à haute vitesse

Benjamin Provost, François Boussu, Marie Lefebvre, Julien Nussbaum

### ► To cite this version:

Benjamin Provost, François Boussu, Marie Lefebvre, Julien Nussbaum. Comportement spécifique de structures 3D interlock tissées contre les impacts à haute vitesse. 17èmes Journées Nationales sur les Composites (JNC17), Jun 2011, Poitiers-Futuroscope, France. pp.39. hal-00597911

**HAL Id: hal-00597911**

**<https://hal.science/hal-00597911v1>**

Submitted on 2 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.

# Comportement spécifique de structures 3D interlock tissées contre les impacts à haute vitesse

## *Specific behaviour of 3D warp interlock structures against high velocity impacts*

Benjamin PROVOST<sup>1 2</sup>, François BOUSSU<sup>1 2</sup>, Marie LEFEBVRE<sup>1 2</sup>  
Julien NUSSBAUM<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Univ. Lille Nord de France, F-59000 Lille, France ;

<sup>2</sup> ENSAIT, GEMTEX, F-59100 Roubaix, France.

<sup>3</sup> ISL, Institut Franco-Allemand de recherche de Saint-Louis, 5 rue du Général Cassagnou  
BP 70034, F-68301 Saint-Louis Cedex, France

benjamin.provost@ensait.fr; francois.boussu@ensait.fr; +33(0)3 20 25 89 58

### Résumé

Les tissus 3D de par leurs intéressantes propriétés mécaniques sont aujourd'hui considérés comme une possible solution de protection contre les fragments à haute vitesse générés par les engins explosifs improvisés.

Les tissus 3D dont les interlocks chaines sont généralement définis en trois groupes : les couche à couches, les orthogonaux et les diagonaux. Cette étude a pour objectif de définir la vitesse limite de perforation ainsi que l'énergie absorbée par un échantillon de tissu 3D soumis à l'impact d'un fragment à haute vitesse.

Les études précédemment réalisées sur le sujet nous ont permis d'identifier la nécessité d'incorporer un élément rigide dans la structure en face avant et en face arrière, de façon à rendre plus résistante la cible et ainsi réduire la vitesse du projectile.

Cette nouvelle structure a été comparée avec des échantillons réalisés à base de plusieurs couches de tissus 2D (couramment utilisés en balistique) de façon à connaître son efficacité réelle.

Il apparaît que cette structure interlock présente certains avantages indéniables comparée au tissu simple ; cependant, sa capacité à absorber l'énergie reste inférieure dans ce cas d'utilisation.

### Abstract

This article is dealing with the use of a new 3D textile material, designed for the ballistic protection. Indeed, 3D textile materials present an interesting range of properties which can be used in the protection against IEDs (Improvised Explosive Devices). 3D textile materials, also named as warp interlock fabrics, are generally defined into three main types as layer to layer, through the thickness and orthogonal. This study aims to define the impact limit velocity and the energy absorption of a special sample of warp interlock fabric facing a high speed fragment. Thanks to previous studies it has been defined that this sample should be improved by integrating hard elements on the front and back surfaces, in order to increase the stiffness and reduce the fragment's speed. This new structure has been compared to samples made of several layers of plain weave fabrics (currently used as soft ballistic protection), in order to know its real efficiency.

It appears that this warp interlock structure provides some advantages compare to plain weave fabrics but its energy absorption capacity remains smaller when used during our ballistic tests.

**Mots Clés :** Tissu interlock chaine, impact haute vitesse, énergie absorbée

**Keywords :** Warp interlock fabric, high velocity impact, absorbed energy

## 1. Introduction

Il est possible de classer les protections balistiques en deux grandes familles, les protections souples, généralement orientés vers les équipements de protection individuelle (police, armée, civil) et la protection dure dédiée aux structures lourdes telles que les blindages de véhicules.

Les structures tissées sont aujourd'hui principalement utilisées en protection balistique. Elles offrent la possibilité de produire plusieurs types de renforts grâce à des machines à tisser « traditionnelles ». Récemment, des recherches ont été menées afin d'optimiser les solutions de protections existantes en terme de taille, d'absorption d'énergie et de poids.

Le choix d'utiliser des tissus 3D s'explique par le fait que ces tissus présentent d'intéressantes caractéristiques structurelles. En effet, la structure va devoir résister à de multiples impacts et les matériaux présentant des petites délaminations semblent plus à même de résister à une telle menace. Grâce à nos précédentes études et de façon à limiter la déformation de la cible, nous avons décidé d'incorporer des éléments rigides dans la structure. Cet élément solide a pour but de rigidifier la structure (la structure devant néanmoins rester suffisamment flexible) et de ralentir autant que possible le projectile. La structure retenue pour nos tests a été imaginée avec un certain nombre de fils métalliques sur les faces avant et arrière de façon à remplir les objectifs cités ci-dessus. L'objectif de cette recherche est d'étudier les performances de ce nouveau tissu interlock chaîne qui inclut en face avant et arrière des éléments solides afin de les comparer avec un tissu simple testé dans les mêmes conditions.

## 2. Les tissus interlocks chaînes

### 2.1 Définition générale

La différence entre un tissu 2D et un tissu interlock chaîne 3D réside dans le fait que les tissus 3D présentent des fils évoluant dans l'épaisseur de la structure. Voir figure 1.

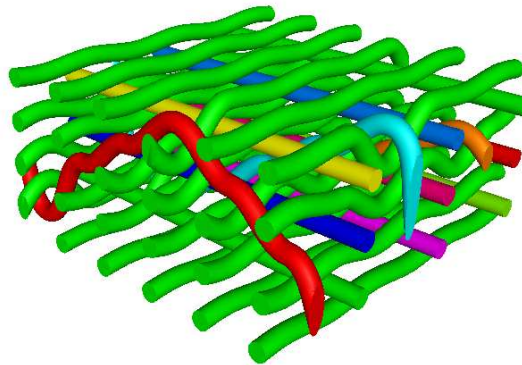


Fig. 1: Exemple de tissu interlock chaîne

Les tissus 3D peuvent par rapport aux tissus 2D présenter les avantages suivants :

- Les fils dans l'épaisseur ont pour but de maintenir les différentes couches du tissu ensemble de façon à atteindre une meilleure résistance balistique et un contrôle plus important de la délamination dans la structure
- Une meilleure efficacité contre les multi-impacts
- Une meilleure performance dans l'épaisseur en ajustant la quantité de fil
- Grâce au tissage 3D il est possible de produire directement des structures complexes, ce qui a pour effet de réduire le coût et les manipulations de ces produits.

Les structures 3D peuvent aussi présenter une meilleure résistance à la compression et une zone de délaminage plus restreinte.

Dans certaines architectures, l'évolution du fil permet une meilleure flexion que dans les structures 2D.

De nouvelles technologies ont été développées de façon à créer de nouveaux textiles 3D telles que le tressage 3D, le tricotage ou bien le tissage 3D.

Ces derniers sont généralement décrits à partir de leurs architectures internes et du nombre de couches que les fils de chaîne évoluant dans la structure traversent. Voir figure 2.

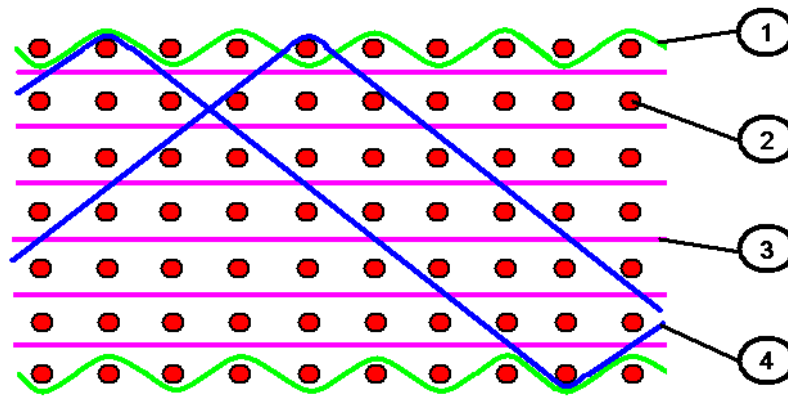


Fig. 2. Illustration d'un tissu interlock chaîne

La figure 2 illustre un exemple de tissu interlock chaîne comprenant l'évolution de chaque fil dans la structure. Le fait que tous les fils aient une évolution différente dans la structure leur confèrent à tous un rôle qui leur est propre.

Le fil de surface (fil n°1) est généralement utilisé lorsqu'une surface lisse est nécessaire, il n'apporte cependant aucune caractéristique mécanique additionnelle.

Le fil de trame (fil n°2) apporte quant à lui la résistance dans la direction transversale.

Le fil de chaîne longitudinal (fil n°3) donne la résistance dans la direction opposée.

Le fil de chaîne (fil n°4) est utilisé afin d'apporter des caractéristiques mécaniques spéciales en fonction de son évolution à travers la structure.

## 2.2 Définition de l'échantillon

Des études ont été préalablement menées afin de déterminer les résistances d'interlocks orthogonal et diagonal. Plusieurs échantillons ont en effet été produits afin d'estimer la quantité d'énergie qu'ils étaient capables d'absorber dans le cas d'un impact à haute vitesse par le biais d'une bille d'acier.

Pour cette étude, un nouveau tissu interlock chaîne a été créé spécialement de façon à étudier l'efficacité d'un élément rigide dans la structure.

La structure interlock «through the thickness» (aussi appelée « diagonale »), a été retenue pour cette étude qui prévoit de tisser un renfort compact au cœur de la structure.

Cet interlock se caractérise par un ensemble de fils de chaîne qui évoluent à travers toute l'épaisseur du tissu. Voir figure 3.

Cette structure est réalisée à partir de fils d'aramide de titrage 1100 dTex ainsi que de fils métalliques de 0.3 mm et 0.7 mm de diamètre qui seront incorporés sur la surface supérieure de la structure.

Voir figure 4.

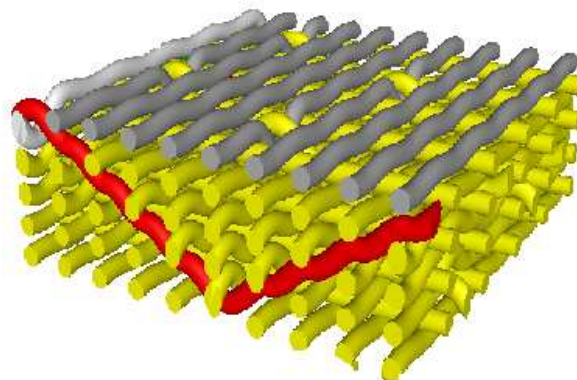


Fig. 3. Vue de la structure interlock chaîne retenue

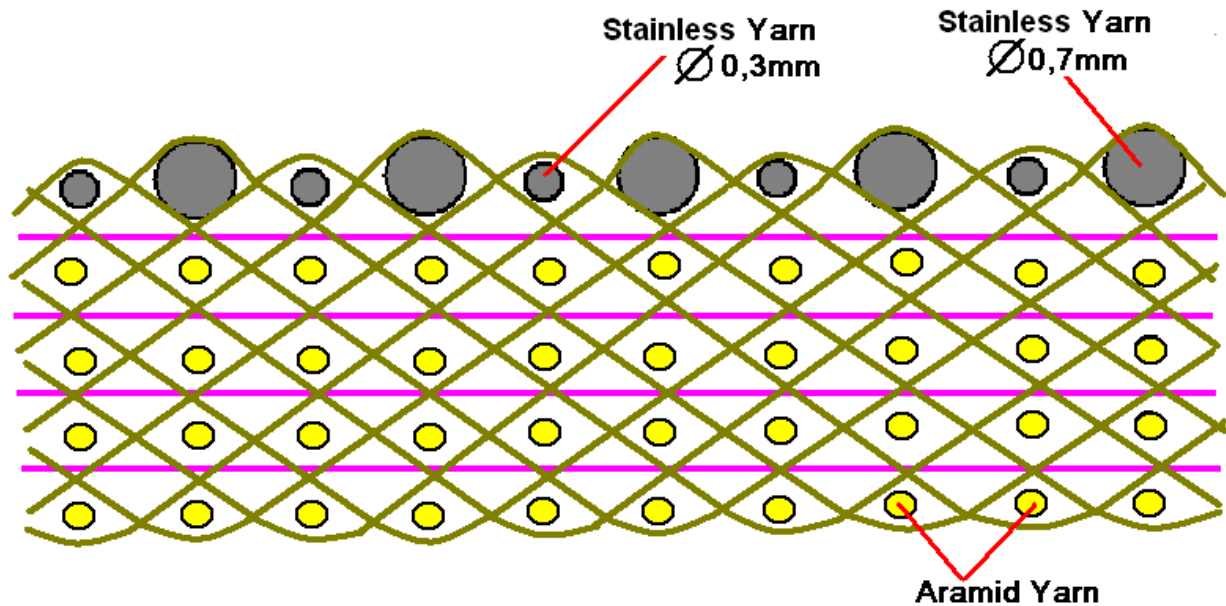


Fig. 4. Détails de la nouvelle structure interlock chaîne

Les échantillons ont été tissés au laboratoire GEMTEX sur une machine à tisser conventionnelle. Les tissus interlock nécessitent généralement d'utiliser de façon très différentes les fils de chaîne, ce qui impose l'utilisation de systèmes indépendants pour pouvoir consommer indépendamment ces fils, ainsi qu'un système permettant la levée des cadres à plusieurs niveaux. Grâce à ces quelques optimisations, un large choix de structures peut être conçu et réalisé.

### 3. Définition de la menace

#### 3.1 Définition générale :

Ce papier a pour objectif de déterminer la possibilité d'utiliser un tissu interlock chaîne 3D comme renfort fibreux en tant que matériau de protection contre des fragments à grande vitesse. Les engins explosifs improvisés sont aujourd'hui l'une des menaces les plus dangereuses pour les forces armées conventionnelles du fait de l'effet de souffle et des nombreux fragments à haute vitesse qu'ils peuvent générer.[3][4][5]

Un EEI avec projection de fragments peut être représenté comme une charge explosive accélérant une grande quantité de fragments à des vitesses très élevées. C'est aujourd'hui l'une des armes les plus utilisées sur les théâtres d'opérations militaires par des forces armées non-conventionnelles ainsi qu'une réelle menace pour les populations civiles.

#### 3.2 EEI à fragments :

Ces menaces étant fabriquées de façon artisanale, il n'existe aucune géométrie type de la charge. De même, il est difficile de définir une forme de fragment très représentative ainsi qu'une échelle de vitesse. Pour cette étude, il a été choisi d'utiliser une bille en acier de 6 mm de diamètre comme fragment représentatif pour nos essais de tirs instrumentés. Ces essais ont été réalisés à l'aide d'un canon à poudre capable d'accélérer le projectile aux vitesses requises, de 600 à 700 m/s.

## 4. Résultats expérimentaux

### 4.1 Présentation des tests :

Les essais de tirs ont été réalisés à l'institut de recherche Franco-allemand de Saint-Louis à l'aide d'un canon à poudre capable de tirer un fragment à grande vitesse. La vitesse d'impact (V1) est mesurée par une double barrière optique tandis que la vitesse résiduelle (V2) après perforation est évaluée à l'aide de 3 clichés rayons X. La comparaison de ces deux vitesses nous permet de calculer l'énergie absorbée par la structure textile pendant l'impact. Voir équation 1.

$$E(\text{abs}) = \frac{1}{2} \times 0,00087 \times V1^2 - \frac{1}{2} \times 0,00087 \times V2^2 \quad (\text{Eq.1})$$

Le fil en aramide utilisé pour la partie textile de la structure est un fil Twaron® présentant les caractéristiques mécaniques suivantes. Voir Tableau 1.

Fibre aramide	Masse linéique (dTex)	Force à la rupture (N)	Ténacité à la rupture (cN/tex)	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Elongation à la rupture (%)
Twaron®	1100	267	235	1,44	3,45

Tab. 1. Caractéristiques mécaniques du fil utilisé

Les échantillons ont été testés dans les conditions décrites ci-dessus. Les cibles ont été assemblées de façon à présenter en premier au projectile l'une des faces inox/aramide de la structure interlock (l'inox est représenté en gris, l'aramide est représenté en jaune et rouge), puis un certain nombre de plis d'interlock 100% aramide ayant la même architecture et pour finir sur la face arrière un autre pli d'interlock inox/aramide. Voir figure 5.

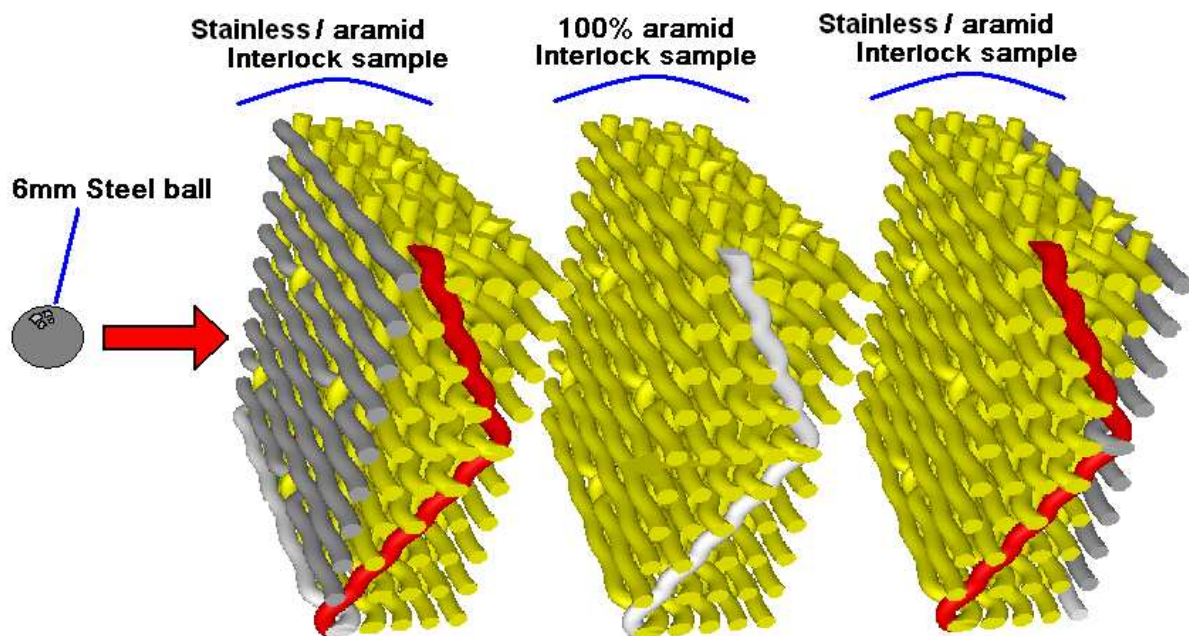


Fig 5. Assemblage des différents plis d'interlock pour les essais [1]

### 4.2 Tests Balistiques:

Tirée à une vitesse de l'ordre de 600 à 700 m/s, une bille d'acier de 6 mm de diamètre possède une énergie cinétique moyenne légèrement inférieure à 200 J. Pour chaque tir, il est donc possible



d'observer une déformation locale au niveau de la face arrière des cibles. Cette déformation est plus importante lorsque la bille est arrêtée par la structure que lorsque la bille perce l'ensemble de la cible. Voir figure 6.

Néanmoins cette déformation sur la face arrière des cibles est beaucoup moins importante que lors de la dernière campagne d'essais sur des cibles réalisées exclusivement à base de textile. En effet, les déformations étaient alors très importantes et les dernières couches très souvent arrachées du support.

Afin d'augmenter la masse surfacique de la cible et donc de renforcer la protection, nous avons simplement ajouté à chaque tir un certain nombre de couches d'interlock 100 % aramide au sein de la structure.



Fig. 6. Impact sur la cible

Grâce à ces tests nous connaissons maintenant le comportement d'une telle cible incluant des fils métalliques lors d'un impact à haute vitesse avec un fragment de petite taille.

### 4.3 Résultats:

La figure 7 nous montre le comportement et l'énergie absorbée par la cible lors de l'impact avec la bille de 6 mm de diamètre tirée à 650 m/s. Voir figure 7.

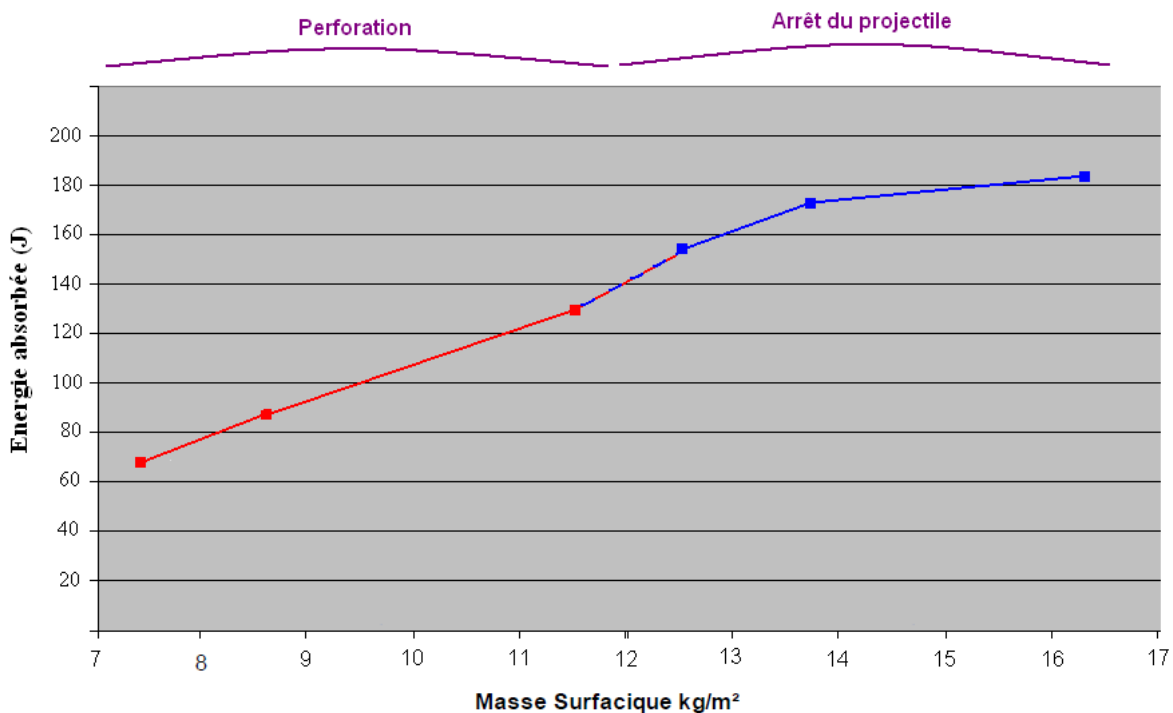


Fig. 7. Energie absorbée en fonction de la masse surfaccique de la cible.

L'ensemble des tirs ont été réalisés avec le même projectile et presque à la même vitesse. On peut donc grâce à cette courbe connaître la masse surfacique minimale d'une telle structure pour stopper le projectile.

La figure 7 nous montre que le projectile est stoppé lorsque la masse surfacique de la cible est supérieure à 12 kg/m<sup>2</sup>, à partir de cette valeur, l'énergie cinétique du projectile est entièrement absorbée par la protection. Quand la masse surfacique est inférieure à 12 kg/m<sup>2</sup> (courbe rouge), la cible ne peut pas arrêter la bille.

#### 4.4 Comparaison:

Les performances de ces échantillons d'interlock inox/aramide ont été comparées avec d'autres structures interlocks ainsi qu'avec des protections plus classiques composées d'assemblage de plis de tissus. En effet, afin d'évaluer les propriétés mécaniques des échantillons, nous les avons comparés avec des matériaux généralement utilisés en protection balistique tels que le tissu 2D aramide.

Ces tissus ont été fabriqués à partir du même matériau fibreux que celui utilisé dans la structure 3D, néanmoins la masse linéique du fil utilisé dans le tissu 2D (930 dTex) n'est pas exactement la même que celle du fil utilisé dans la structure 3D (1100 dTex).

Le tissu utilisé est un tissu Twaron® CT 709. Voir figure 8.

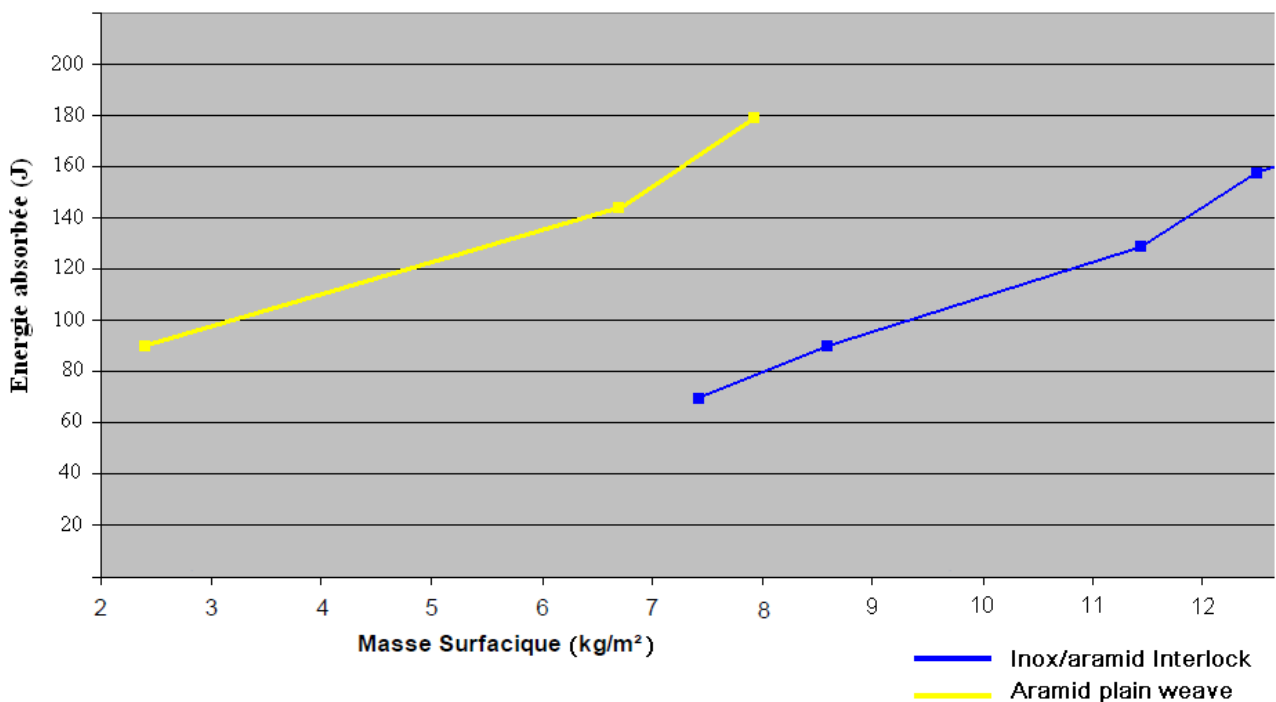


Fig. 8. Comparaison entre l'interlock inox/aramide et tissu 2D

Les résultats montrent que le tissu aramide 2D semble avoir un meilleur comportement pour ce qui est de l'absorption d'énergie que l'interlock inox/aramide. En effet, pour un même projectile le tissu 2D est capable d'absorber une plus grande quantité d'énergie. Ceci est dû au fait que les surfaces métalliques de la structure 3D rendent la cible considérablement plus lourde alors que ces propriétés mécaniques augmentent peu.



## 5. Conclusion

Cette étude nous a permis de vérifier le comportement à l'impact d'un nouveau tissu interlock présentant plusieurs optimisations en relation avec la menace sélectionnée.

Ce travail annexe est issu d'une étude plus générale sur le comportement de tissu interlock soumis à des impacts à haute vitesse.

La comparaison de cette structure interlock 3D avec des structures basiques telles que le tissu 2D, nous montre que ces dernières sont encore les plus efficaces. En effet, quelques optimisations sont encore nécessaires de façon à améliorer leurs propriétés mécaniques.

Quelques paramètres comme la finesse des fils en inox qui doit être augmentée ou bien la localisation dans la cible de ces couches « dures » doit être étudiée afin d'assurer une meilleure absorption d'énergie.

Afin de compléter du mieux possible cette étude, différentes géométries de la structure doivent être essayées ainsi que différents matériaux tels que des alliages plus durs.

Les premiers échantillons de ces tissus interlock chaîne incluant un élément dur n'ont peut être pas été aussi efficace qu'escompté, mais ils ouvrent cependant de nouvelles voies de recherches.

## Remerciements

L'auteur souhaite remercier l'Institut de recherche Franco-allemand de Saint-Louis pour leur savoir-faire et leur technologie nécessaires à la réalisation de ces essais.

## References:

- [1] TexGen free software licensed under the GNU General Public License, Copyright ©Martin Sherburn
- [2] 3D fibrous assemblies, properties applications and modelling of three dimensional textile structures, Julian HU, WP number 74, page 105, ISBN 978-1-84569-377-0, 2008
- [3] Clay Wilson Specialist in Technology and National Security Foreign Affairs, Defence, and Trade Division "Improvised Explosive Devices in Iraq: Effects and Countermeasures", <http://www.fas.org/irp/doddir/army/fmi3-34-119-excerpt.pdf>
- [4] "Improvised Explosive Devices Defeat", Departments of the Army United States Marine Corps Field Manuel interim, FMI-3-34.119/MCIP 3-17.01
- [5] J.S Gondusky, "Protecting military convoys in Iraq: An examination of battle Injuries Sustained by a mechanized battalion during Operation Iraqi Freedom II", Military medicine 170 (6), June 2005 pp 546-549