

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen – Faculté de TECHNOLOGIE



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

En : Génie Mécanique Spécialité : Construction Mécanique

Par : AMEUR AICHA

Etude expérimentale de la traction des éprouvettes imprimées en 3D

Soutenu publiquement, le	10/06/2024	devant le jury composé de :	
Mme CHEIKH Nassima	MAA	Université de Tlemcen	Président
Mme BELHADJ Kacem Fadia	MAA	Université de Tlemcen	Examineur
M SERDOUN Nadjib	MCA	Essa Tlemcen	Encadreur
M BELALIA SID AHMED	PR	Université de Tlemcen	CO Encadreur

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

DEDICASES

Avant toute chose je tiens à remercier Dieu pour l'accomplissement de ce projet.

Je dédie ce travail

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études

A mes frères Mohamed, Abdelhadi et ma chère sœur Ismahene qui m'ont toujours porté de la joie et de l'amour

A ma sœur Hakima, son mari Rabie et ses enfants Louay et Baraa Firdaus

A toute ma famille

Merci

REMERCIEMENTS

Toute ma parfaite gratitude et remerciement à ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la force pour la réalisation de cet humble travail.

Au début, je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire, mes chers parents, mes sœurs et mes frères.

Je tiens à remercier mon encadreur Mr SERDOUN NADJIB et Co-encadreur Mr BELALIA SIDAHMED, pour leurs aide, conseils et pour l'orientation, la guidance, l'encouragement, ainsi que pour ses précieux conseils lors de la réalisation de ce mémoire dans les meilleures conditions. Sans oublier de remercier laboratoire MECACOMP et l'ingénieur de laboratoire qui m'a aidé MOSTAFA.

Je tiens à remercier les membres du jury, le président Mme CHEIKH Nassima et l'examineur Mme BELHADJ Kacem Fadia d'avoir accepté de juger ce modeste travail et pour leurs efforts et leur soin apporté à notre travail.

Résumé

L'étude de détermination des caractéristiques mécaniques des pièces imprimées en 3D est concentrée sur l'analyse des propriétés physiques des composants fabriqués par impression tridimensionnelle. L'objectif principal de cette recherche est d'évaluer leur résistance, en examinant divers paramètres tels que le matériau utilisé, les configurations d'impression et les méthodes de conception. Les résultats ont révélé la grande variabilité des caractéristiques mécaniques en fonction de ces facteurs. Cette étude offre un aperçu essentiel pour l'optimisation de la qualité des pièces imprimées en 3D et ouvre des perspectives pour leur application dans divers domaines, notamment l'industrie, la médecine et l'aérospatiale.

Mots clés : Imprimante 3D, Impression 3D, Cura, Technologie FDM

Abstract

The study aimed at determining the mechanical characteristics of 3D-printed parts focuses on the analysis of the physical properties of components manufactured through three-dimensional printing. The primary objective of this research is to assess their strengths by examining various parameters such as the material used, printing configurations, and design methods. The results have revealed significant variability in the mechanical characteristics based on these factors. This study provides essential insights for optimizing the quality of 3D-printed parts and opens up possibilities for their application in various fields, including industry, medicine, and aerospace.

Keywords : 3D printer, 3D printing, Cura, FDM Technology

ملخص

تهدف الدراسة إلى تحديد الخصائص الميكانيكية للأجزاء المطبوعة ثلاثية الأبعاد، وتركز على تحليل الخصائص الفيزيائية للمكونات المصنعة من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد. الهدف الأساسي من هذا البحث هو تقييم نقاط قوتها من خلال فحص عوامل مختلفة مثل المواد المستخدمة وتكوينات الطباعة وطرق التصميم. وقد كشفت النتائج عن تباين كبير في الخصائص الميكانيكية بناء على هذه العوامل. توفر هذه الدراسة رؤى أساسية لتحسين جودة الأجزاء المطبوعة ثلاثية الأبعاد وتفتح إمكانيات لتطبيقها في مختلف المجالات، بما في ذلك الصناعة والطب والفضاء الجوي

كلمات مفتاحية: طباعة ثلاثية الأبعاد، طباعة ثلاثية الأبعاد، كيورا، تكنولوجيا FDM

Table des matières

Introduction générale	1
Revue bibliographique	2
Chapitre 1 : Généralités sur l'imprimante 3D et l'impression 3D	
Définition générale	4
Historique	4
Types d'imprimantes 3D	5
1.3.1. Imprimante 3D grand public.....	5
1.3.2. Imprimante 3D professionnelle	5
1.3.3. Imprimante 3D industrielle.....	6
1.4. Le principe de l'impression 3D.....	6
1.5. Les Types d'impression 3D	7
1.5.1. Le dépôt filamentaire (Impression avec des fils fondus).....	7
1.5.2. Technologie d'impression 3D par frittage de poudre (sls_ dmls _slm).....	8
1.5.3. Formation de poudre pare laser	9
1.5.4. Impression 3D avec impression optique et stéréocopique stéréolithographie.....	10
1.6. Matériaux utilisés	11
1.7. Etape d'impression	13
1.8. Technologies d'impression.....	14
1.9. Domaines d'application	15
1.9.1. Aéronautique	15
1.9.2. Médecine et Chirurgie	16
1.9.3. Armes et armée.....	17
1.9.4. Architecture	17
1.9.5. Domaine de l'industrie.....	18

Chapitre 2 : Etude descriptive de l'imprimante Creality CR-10-S4

2.1. Présentation de l'imprimante Creality CR-10-S4.....	19
2.1.2. Caractéristiques	20
2.1.2.1. Information générales	20
2.1.2.2. Performance.....	20
2.1.2.3. Matériel.....	20
2.1.2.4. Logiciel.....	20
2.2. Software de commande de l'imprimante.....	21
2.2.1. Les Logiciel d'impression 3D	21
2.3. Logicielle Cura Ultimaker	23
2.3.1 Définition.....	23
2.3.2. Paramètre de cura	23
2.4. Les différents motifs de remplissage	25
2.5. Les différents de position d'impression	28

Chapitre 3: Etude mécanique sur des éprouvettes imprimées en 3D

3.1. Essai de traction.....	29
3.1.1. Généralités	29
3.1.2. Eprouvette.....	30
3.1.3. Mode opératoire.....	31
3.1.4. Etude expérimental	31
3.1.5. Etude paramétrique.....	31
3.1.5.1. Etude de l'influence de la hauteur de la couche	31
3.1.5.2. Etude de l'influence du taux de remplissage	32
3.1.5.3. Etude de l'influence de motif de remplissage	33
3.1.5.4. Etude de l'influence de position d'impression	34
3.1.6. Module de Young	35

Conclusion générale.....	36
Référence bibliographiques	38

Liste des figures

Chapitre 1 : Généralités sur l'imprimante 3D et l'impression 3D

Figure 1.1: l'imprimante BCN 3D+	5
Figure 1.2: imprimante 3D ProJet 3500 SD	6
Figure 1.3: imprimante 3D ProX 300	6
Figure 1.4: Principe de la technique d'impression 3D FDM.....	7
Figure 1.5: Le principe de l'impression 3D	8
Figure 1.6: Fibre d'impression 3D	8
Figure 1.7: Fusion laser sur lit de poudre	9
Figure 1.8: l'impression 3D métallique avec le partenaire italien Sisma d'une Buse coaxiale LMD	10
Figure 1.9: Une coupe transversale	10
Figure 1.10: La technologie SLA utilise un matériau sous forme résine	11
Figure 1.11: L'impression 3D par liquide stéréolithographie	11
Figure 1.12: la maintenance aéronautique pourra s'appuyer sur l'impression 3D.....	16
Figure 1.13: imprimante 3D en chirurgie	16
Figure 1.14: Quand l'impression3D.....	16
Figure 1.15: Aux États-Unis, fabriquer soi-même des armes à feu relève désormais de la liberté d'expression.....	17
Figure 1.16: une imprimante 3D qui ressemble à une guède bâtiments.....	17
Figure 1.17: l'impression 3D mobile.....	17
Figure 1.18: RAMLAB poursuit la fabrication additive d'une hélice de bateau	18
Figure 1.19: Fabrication additive Impression 3D	18

Chapitre 2 : Etude descriptive de l'imprimante Creality CR-10-S4

Figure 2.1: imprimante 3D Creality CR-10 S4 au laboratoire MECACOMP	19
Figure 2.2: Simplify3D programme	21
Figure 2.3: 3DSlicer programme.....	22
Figure 2.4: 3Dsystems programme.....	22
Figure 2.5: Slic3r programme.....	23
Figure 2.6: Interface de logiciel ultimaker cura	24
Figure 2.7 : Estimation de durée et du matériau.....	25
Figure 2.8 : motif de remplissage ligne	26
Figure 2.9: motif de remplissage triangle.....	26
Figure 2.10: motif de remplissage cubique	27
Figure 2.11: motif de remplissage gyroïde.....	27
Figure 2.12: Les différents de position d'impression.....	28

Chapitre 3: Etude mécanique sur des éprouvettes imprimées en 3D

Figure 3.1: Essai de traction sur la machine Controlab 600KN au laboratoire matériaux de construction	29
Figure 3.2: Essai avant et après le traction sur les mortes de la machine Controlab 600KN au laboratoire matériaux de construction	30
Figure 3.3: Dimensions caractéristiques des éprouvettes.....	31
Figure 3.4: Eprouvette conçue sur solidworks.....	31
Figure 3.5: Eprouvette réelle imprimé en 3D	32
Figure 3.6: Eprouvettes imprimées en 3D avant et après rupture.....	32
Figure 3.7: Courbe de résultat d'essai de traction de la machine Controlab 600KN, (échantillon 3, Epaisseur 0.2mm, Remplissage 20%)	34
Figure 3.8 : Courbe contrainte-déformation pour différente hauteurs de la couche d'impression	34
Figure 3.9: Courbe de résultat d'essai de traction de la machine Controlab 600KN, (échantillon 2, Epaisseur 0.3mm, Remplissage 60%)	35
Figure 3.10. Courbe contrainte-déformation pour le taux de remplissage	36
Figure 3.11: Courbe de résultat d'essai de traction sur la machine Controlab 600KN(Échantillon 1, Epaisseur 0.3mm, Remplissage 20%, Motif triangle).....	37
Figure 3.12: Courbe contrainte-déformation pour le motif de remplissage	37
Figure 3.13: Photo réelle des motifs de remplissage triangle ligne gyroïde.....	38
Figure 3.14: Courbe de résultat d'essai de traction sur la machine Controlab 600KN (échantillon 2, Epaisseur 0.3mm, Remplissage 20%, Position Horizontal).....	39
Figure 3.15: Courbe contrainte-déformation de position d'impression	39

Liste des tableaux

Tableau 3.1: résultats de module de Young	40
---	----

Abréviations

STL : Stéréolithographie

FDM : Fused Deposition Modeling ou Dépôt de Fil Fondu

3D : Tridimensionnelles

FA : Fabrication Additive

SLA : Stéréolithographie Apparatus

SLS : Selective Laser Sintering

ABS : Acrylonitrile Butadiène Styrene

PLA : Polyactique Acid

SLM : Selective Laser Melting

FFF : Fabrication du Filament Fondu

DMLS : Direct Metal Laser Sintering

MJP : Multi Jet Fusion

LS : Laser Sintering

LPF : Laser Powder Fusion

CAO : Conception assistée par ordinateur

EBM : Electron Beam Melting

Table des unités

Symbole	Signification	Unité	Symbole des unités
σ_r	Contrainte de rupture	KiloNewoton/millimètre ²	KN/mm ²
F_r	Force de ruptur	KiloNewoton	KN
S	Surface	Millimètre ²	Mm ²
ε_r	Déformation de rupture		
DL	Déplacement traverse	Millimètre	mm
L_0	La longueur entre les morts de la machine	Millimètre	mm
E_r	Module de young	Newoton/mètre ²	N/m ²

Introduction générale

Introduction générale :

L'idée originale de l'imprimante 3D a été émise par Arthur C, et elle est apparue en 1980. Les premières imprimantes abordables en fait leur apparitions en 2005, comme l'imprimante RepRap. Le procédé d'impression par ajout de matière a été proposé par la société américaine Stratasys en 1988. En 1993 L'institut de technologie de Massachussetts MIT (Massachussetts Institute of Technology), en développait la technologie multi-jet modeling (MJM ; modelage à jets multiples).

Pour ce projet de fin d'études, nous avons opté pour un sujet qui concerne l'impression 3D en raison de son importance dans la conception de prototypes, réparation et maintenance, et dans l'industrie, il est important de connaître les limites et les propriétés mécaniques des pièces imprimées en 3D.

Ce mémoire, est organisé en trois chapitres

Le premier chapitre, on expose des généralités concernant l'imprimante 3D, et le processus d'impression 3D. Cela inclut une définition globale, un aperçu historique, ainsi qu'une classification des diverses catégories d'imprimantes et de leurs champs d'application respectifs.

Dans le deuxième chapitre, nous avons effectué une présentation détaillée de l'imprimante Creality CR-10 S4, utilisée pour l'impression des éprouvettes, ainsi que les logiciels utilisés pour l'impression 3D.

Le troisième chapitre a été consacré à la partie expérimentale, l'analyse et l'interprétation des résultats.

Ce mémoire est clôturé par une conclusion générale.

Revue bibliographique :

Au fil des dernières décennies, l'impression 3D s'est progressivement imposée comme l'une des technologies clés de la fabrication, grâce à sa capacité à offrir une liberté de conception de produit et à réduire la consommation de matières premières. La technologie d'impression tridimensionnelle (3D) se distingue par son processus de fabrication additive, où la matière est ajoutée couche par couche, contrairement à l'usinage traditionnel qui retire de la matière pour créer des pièces. En août 1984, le brevet pour la méthode d'impression 3D appelée stéréolithographie a été déposé aux États-Unis. Cette technique, connue sous le nom de Stéréolithographie Apparatus (SLA), utilise un processus spécifique pour réaliser des objets en trois dimensions. [1]. En 1989, la société Stratasys a lancé sur le marché une nouvelle technologie appelée FDM (Fused Deposition Modeling) ou dépôt de fil fondu. Cette méthode d'impression 3D utilise un filament chauffé qui est déposé, couche par couche, sur un plateau à l'aide d'une buse d'impression également chauffée. Après chaque couche, le plateau descend afin de permettre la création de la couche suivante. Ce processus est répété jusqu'à ce que le produit 3D final soit complètement formé. De nos jours, la majorité des imprimantes 3D grand public utilisent cette technique [2]. En 1995, la technologie DMLS (Direct Metal Laser Sintering), également appelée frittage laser de métal, a été développée. Ce procédé d'impression 3D utilise un laser pour chauffer de fines particules de plastique, de métal, de céramique ou de verre. L'imprimante 3D dépose une fine couche de particules dans le bac d'impression, puis cette couche est chauffée par le laser pour former une nouvelle couche de l'objet en construction [3]. En 2005, la société ZCorporation a introduit sur le marché la première imprimante 3D capable de produire des objets en couleur. Son fonctionnement est similaire à celui des imprimantes couleur 2D. Suite à l'acquisition de ZCorp par 3D Systems, cette technologie a été renommée CJP (Color Jet Printing). Parallèlement, en 2004, le projet RepRap a été lancé par le Dr. Bowyer de l'université de Bath [4]. L'objectif était de développer une imprimante 3D capable de reproduire la plupart de ses propres pièces en les imprimant en 3D. Ce projet visait à rendre les machines économiquement et techniquement accessibles aux particuliers, en utilisant des logiciels de commande de l'imprimante 3D de type "Open Source". La première imprimante 3D auto-répliquante, appelée Darwin, a été commercialisée en 2008. En 2009, le mouvement du "faire soi-même" (DIY - Do It Yourself) s'est étendu à l'impression 3D avec la sortie de la CupCake, une imprimante 3D en kit proposée par l'entreprise MakerBots (qui a ensuite été rachetée par Stratasys). Au début de l'année 2015, Hewlett Packard a introduit une nouvelle technologie d'impression 3D appelée MJP (Multi Jet Fusion) [5]. La popularité de l'impression 3D auprès du

grand public a commencé à croître à partir des années 2004-2007, grâce aux initiatives telles que RepRap et Fab@home [2]. Après des décennies d'améliorations, les composants imprimés en 3D par FFF offrent une résistance, une rigidité et une précision géométrique suffisantes. Par conséquent, la technologie d'impression 3D par FFF est largement utilisée dans divers domaines, tels que l'ingénierie biomédicale [6], l'ingénierie civile [7], l'ingénierie aéronautique et astronautique [8].L'utilisation de renforts dans les structures imprimées en 3D apporte une complexité supplémentaire au processus. Dans la plupart des études, les fibres sont des inclusions complexes qui permettent d'améliorer la résistance à la traction et à la flexion [9],[10],[11].Ce travail propose un modèle numérique visant à étudier la distribution et l'orientation des fibres dans les composites imprimés. La simulation numérique explore les méthodes de résolution des écoulements pour les suspensions de fibres, en utilisant des modèles permettant de caractériser la microstructure ainsi que les interactions entre fibre-fibre et fibres-fluide. De plus, des essais de caractérisation mécanique des pièces imprimées sont présentés et comparés aux comportements des pièces injectées. L'objectif de ces essais est de mieux comprendre le processus d'impression 3D des composites [12].L'étude menée par Liu et al. en 2019 s'est focalisée sur l'influence de la direction de fabrication et de l'orientation de remplissage sur les propriétés mécaniques des échantillons produits par extrusion de matière, notamment en ce qui concerne leurs capacités de traction et de flexion [13].

Chapitre 1

Généralités sur l'imprimante 3D et l'impression 3D

CHAPITRE 1 : Généralités sur l'imprimante 3D et l'impression 3D

1.1. Définition générale :

Une imprimante 3D est une machine qui crée des objets physiques en les construisant couche par couche à partir d'un matériau de base. Elle utilise généralement des modèles numériques en trois dimensions (3D) pour guider le processus de fabrication. L'impression 3D, également connue sous le nom de fabrication additive, est le processus de création d'objets réels à partir de données numériques en utilisant une imprimante 3D.

L'impression 3D fonctionne selon plusieurs techniques, mais la méthode la plus courante consiste à ajouter progressivement des couches de matériau, tel que du plastique, du métal, de la céramique ou même des matériaux biologiques, pour former l'objet souhaité. Le processus commence par la création d'un modèle numérique en 3D à l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) ou à partir de numérisations 3D de modèles existants.

1.2. Historique :

L'impression 3D est une technologie relativement récente, dont les origines remontent aux années 1980.

Années 1980 : Les premiers travaux sur l'impression 3D ont été réalisés par Charles W. Hull, qui a inventé un processus appelé stéréolithographie en 1983. Ce procédé utilisait la photo polymérisation pour créer des objets en durcissant des couches successives de résine liquide à l'aide d'un laser.

Années 1990 : Au cours de cette décennie, d'autres techniques d'impression 3D ont été développées, notamment le frittage sélectif par laser (SLA), le dépôt de fil fondu (FDM) et la fusion sélective par laser (SLS). Ces techniques ont introduit de nouvelles méthodes de fabrication additive et ont élargi les possibilités de l'impression 3D.

Années 2000 : L'impression 3D a commencé à se populariser davantage dans divers domaines, notamment l'industrie, la médecine et la recherche. Les imprimantes 3D sont devenues plus accessibles et abordables, permettant à un plus grand nombre de personnes d'explorer cette technologie.

Années 2010 : La décennie a été marquée par une explosion de l'intérêt pour l'impression 3D. Les imprimantes 3D grand public ont été largement commercialisées, ce qui a permis aux utilisateurs domestiques et aux petites entreprises d'adopter cette technologie. De plus, l'impression 3D a été

CHAPITRE 1 : Généralités sur l'imprimante 3D et l'impression 3D

utilisée dans des domaines tels que l'aérospatiale, l'automobile et la mode pour la production de pièces, de prototypes et de modèles.

Aujourd'hui, l'impression 3D continue de se développer et d'évoluer rapidement. De nouveaux matériaux sont utilisés, les vitesses d'impression augmentent, et des techniques avancées. L'impression 3D a le potentiel de transformer de nombreux secteurs en offrant des solutions de fabrication plus rapides, personnalisées et durables.

1.3. Types d'imprimantes 3D :

1.3.1. Imprimante 3D grand public :

Que ce soit pour la maison ou un individu, une imprimante de ce type utilise une tête d'impression pour déposer un matériau fondu ou semi-liquide. Il s'agit de la catégorie des imprimantes 3D personnelles, qui utilisent principalement du plastique fondu comme matériau.



Figure 1.1: l'imprimante BCN 3D+

1.3.2. Imprimante 3D professionnelle :

Ces imprimantes 3D sont conçues pour être utilisées dans des bureaux d'études, des cabinets d'architecture ou d'autres studios de design, afin de répondre aux besoins de prototypage rapide, de validation de concepts ou de formes, de création de packaging ou de maquettes d'architecture. Elles utilisent principalement des matériaux plastiques tels que l'ABS ou les polyamides.



Figure 1.2: imprimante 3D ProJet 3500 SD

1.3.3. Imprimante 3D industrielle :

Ces machines sont spécialement conçues pour répondre aux besoins des groupes industriels et offrir les résolutions d'impression les plus élevées sur le marché des imprimantes 3D. Elles offrent une vaste gamme de matériaux, tels que le plastique, le métal, la cire ou le sable.



Figure 1.3: imprimante 3D ProX 300

1.4. Le principe de l'impression 3D :

L'impression 3D consiste à fabriquer des objets volumineux et complexes en déposant plusieurs couches successives. Chaque couche est imprimée de manière bidimensionnelle, ce qui permet de former la troisième dimension et ainsi créer la forme de l'objet.

Les buses des imprimantes se déplacent généralement le long de trois axes (largeur (X+), profondeur (Y+), hauteur (Z+)), ce qui permet de se déplacer dans l'espace. Certaines imprimantes 3D plus avancées peuvent également ajouter deux rotations à la tête de la buse (A+ et B+), ce qui facilite la création des supports nécessaires à certaines pièces. En impression 3D, la pièce est fabriquée en ajoutant de la matière plutôt qu'en la retirant.

CHAPITRE 1 : Généralités sur l'imprimante 3D et l'impression 3D

L'épaisseur de chaque couche peut être choisie par l'utilisateur, avec une plage typique allant de 0,5 à 1 mm, une épaisseur plus élevée permet une impression plus rapide, mais avec une qualité de surface inférieure. En revanche, une faible épaisseur, généralement de 0,1 à 0,4 mm, offre une meilleure qualité de surface mais une vitesse d'impression plus lente.

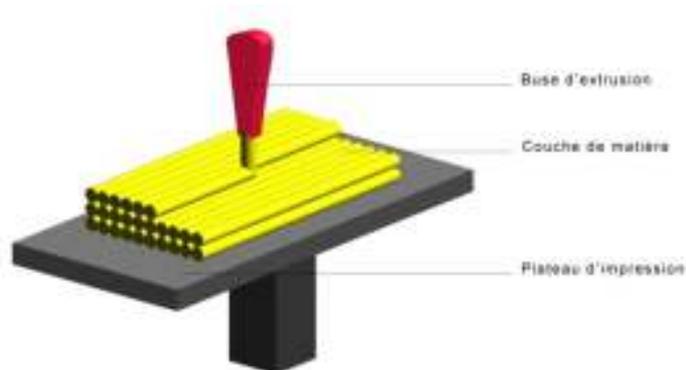


Figure 1.4: Principe de la technique d'impression 3D FDM

1.5. Les Types d'impression 3D :

L'évolution de l'impression 3D a été motivée par le besoin d'améliorer les performances, la vitesse, la précision et la qualité des objets produits. Cela a également permis d'étendre l'utilisation de la technologie d'impression 3D à de nouveaux domaines, grâce au développement et à la diversification des matériaux utilisés dans le processus d'impression. En parallèle, les technologies de contrôle ont également connu des avancées significatives.

1.5.1. Le dépôt filamentaire (Impression avec des fils fondus) :

La technique de fusion de fils métalliques, vitreux ou plastiques à l'aide d'une buse extrêmement chaude permet de reformuler la matière. Ce procédé, connu sous le nom de Fused Deposition Modeling (FDM), a été développé en 1988. Il implique l'utilisation d'une tête de distribution de matière fondue montée sur une mécanique sans contact à orientation XY. Le principe est assez simple : la tête fait fondre un fil thermo fusible et le dépose directement sur la pièce en cours de réalisation, où il se solidifie instantanément.

CHAPITRE 1 : Généralités sur l'imprimante 3D et l'impression 3D

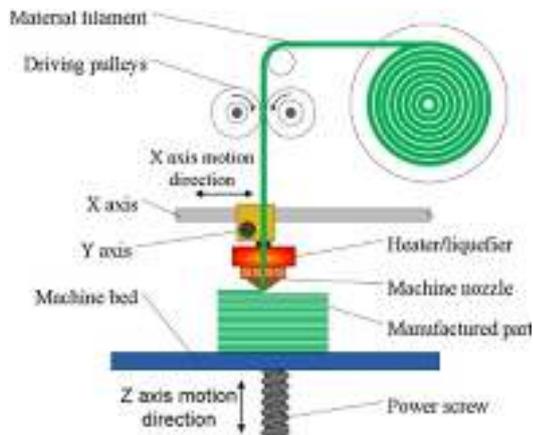


Figure 1.5: Le principe de l'impression 3D

Figure 1.6: Fibre d'impression 3D

1.5.2. Technologie d'impression 3D par frittage de poudre (sls_ dmls _slm) :

Le concept de production de pièces en 3D à partir d'un matériau sous forme de poudre et de laser pour la montée en température a été initié par Pierre Ciraud au début des années 70. En 1992, DTM a commercialisé la première machine basée sur un brevet déposé par M. Deckard aux États-Unis. DTM a utilisé le nom de SLS (Selective Laser Sintering), tandis qu'EOS (Allemagne) a rejoint le marché en 1994 avec son procédé LS (Laser Sintering), ultérieurement transformé en Direct Manufacturing Laser Sintering (DMLS). Ce procédé permet de lier le matériau sous forme de poudre pour donner la géométrie de la pièce.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour fondre localement les grains du matériau, avec des résultats différents :

- Les grains peuvent être agglomérés sans fusion, ce qui conduit à des pièces présentant une porosité notable.
- Les grains sont fusionnés localement, créant des pièces sans porosité grâce à une pression 3D et à l'utilisation de la technologie laser.

Ce procédé est plus récent que la stéréolithographie et nécessite un faisceau haute énergie, tel qu'un laser ou un faisceau d'électrons, pour chauffer le matériau à haute température.

Voici les étapes principales du procédé :

1. Une fine couche de poudre est déposée par un distributeur.
2. La poudre est ensuite étalée à l'aide de diverses techniques.

CHAPITRE 1 : Généralités sur l'imprimante 3D et l'impression 3D

Le faisceau est ensuite dirigé selon la découpe stratifiée de la pièce pour solidifier une nouvelle partie de la pièce.



Figure 1.7: Fusion laser sur lit de poudre

1.5.3. Formation de poudre par laser :

Il existe actuellement plusieurs technologies en cours de développement qui visent à produire des pièces mécaniques en utilisant un dépôt de poudre ciblé et fusionné à l'aide d'un laser à haute puissance. Les procédés LPF (Laser Powder Fusion) fonctionnent de manière similaire au frittage de poudre métallique, utilisant des poudres métalliques et un laser à forte puissance. Cependant, les procédés LPF se distinguent par le fait que les grains de poudre sont chauffés à leur point de fusion sans être pré-distribués en couches d'épaisseur spécifique. Une tête positionnée dans l'espace de travail dépose un fin cordon de matière qui se solidifie rapidement. Ces procédés ne peuvent être utilisés qu'avec des matériaux métalliques, notamment des alliages présentant des caractéristiques mécaniques et/ou thermiques élevées.

Les dispositifs basés sur ces technologies sont encore très récents et connaîtront de grandes évolutions, car la technologie est prometteuse et se trouve au début de son développement. Les innovations apportées par ces procédés se concentrent sur l'utilisation de lasers à forte puissance (au minimum 1500 W) et sur la création d'une tête qui associe focalisation et dépôt localisé de matière. Le positionnement de la tête dans l'espace de travail est généralement réalisé à l'aide de machines à 5 axes ou de robots à 6 axes, qui sont des approches plus courantes dans ce domaine.



Figure 1.8: l'impression 3D métallique avec le partenaire italien Sisma d'une buse coaxiale LMD

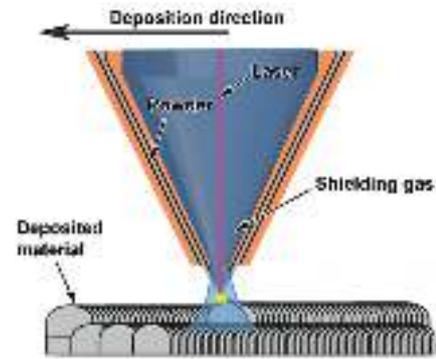


Figure 1.9: Une coupe transversale

1.5.4. Impression 3D avec impression optique et stéréolithographie : stéréolithographie :

L'impression 3D par stéréolithographie fonctionne de la manière suivante :

Tout d'abord, un fichier numérique du modèle 3D est créé à l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) tel que SolidWorks, Sculpt ou Maya. Ce fichier, généralement au format STL, est ensuite transmis à l'imprimante 3D.

À l'intérieur de l'imprimante, un second logiciel appelé "slicer" découpe le modèle en fines couches d'une épaisseur fixe. Une fois le fichier découpé, les instructions nécessaires sont envoyées à l'imprimante 3D.

Les composants principaux d'une imprimante 3D par stéréolithographie comprennent un bac de résine, une plate-forme mobile (axe Z), un système de raclage (axe X), un laser à rayons UV, une optique de focalisation et un miroir galvanométrique (axes X et Y).

Le faisceau laser balaye la surface de la résine liquide en suivant le modèle 3D numérique fourni à l'imprimante. Lorsque le laser frappe la résine, il la solidifie en formant la première couche de matériau. Ensuite, la plate-forme descend d'un niveau, correspondant à l'épaisseur d'une couche d'impression, et une nouvelle section de résine est solidifiée. Ce processus est répété pour chaque couche nécessaire jusqu'à l'obtention du volume complet de la pièce.

Dans certains modèles d'imprimantes SLA (comme ceux de Formlabs, par exemple), la production de la pièce se fait à l'envers. La plate-forme est immergée dans le bac de résine après chaque couche solidifiée, tandis que le laser agit de bas en haut pour solidifier la résine.



Figure 1.10: La technologie SLA utilise un matériau sous forme de résine

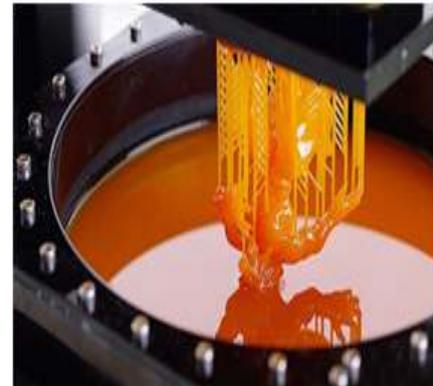


Figure 1.11: L'impression 3D par liquide Stéréolithographie

1.6. Matériaux utilisés :

L'industrie de l'impression 3D utilise une variété de matériaux pour produire des objets finaux, notamment :

Plastiques

- **ABS** : L'ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) est un thermoplastique très couramment utilisé dans l'impression 3D, en particulier par les imprimantes 3D destinées aux particuliers. Il présente une surface rugueuse qui ressemble au plastique tant au niveau de la texture, de la dureté que de la fonctionnalité. L'ABS fond à une température d'environ 200°C. C'est un matériau résistant disponible dans plusieurs couleurs, et il est largement utilisé pour la fabrication d'objets de notre quotidien, notamment des jouets.
- **PLA** : Le PLA (Poly Lactic Acid) est un polyester thermoplastique fabriqué à partir de ressources renouvelables. Il est principalement dérivé de l'amidon, provenant de sources telles que le maïs, les plantes ou le lactosérum de chèvre. Ce matériau est très apprécié des particuliers en raison de son caractère respectueux de l'environnement et de sa biodégradabilité. Le PLA fond à une température d'environ 160°C, mais il est moins résistant que l'ABS et il est sensible à l'humidité. De plus, il peut être utilisé en toute sécurité pour fabriquer des objets destinés à être en contact avec des aliments, tels que des bols, des assiettes et des tasses.

CHAPITRE 1 : Généralités sur l'imprimante 3D et l'impression 3D

- **Résine** : La résine est un matériau largement utilisé dans les procédés d'impression 3D tels que SLA et PolyJet. Elle présente différentes propriétés physiques qui lui sont propres selon le type utilisé. La résine permet d'obtenir des impressions très détaillées et solides, même sur des formes complexes, avec une finition de surface très lisse.
- **Polyamide** : Le polyamide est fréquemment utilisé dans l'impression 3D, principalement par la technologie de frittage laser. Il s'agit d'une poudre plastique qui permet de créer des objets stables, résistants aux chocs, rigides et légèrement flexibles. Les objets en polyamide peuvent être utilisés en contact avec des aliments, ce qui en fait un matériau adapté à cette application. De plus, le polyamide est parfois utilisé en impression 3D pour la fabrication de moules d'injection.
- **Plastique transparent** : Différents fabricants proposent des solutions d'impression 3D pour les plastiques transparents. Ces matériaux sont couramment utilisés en dentisterie pour la fabrication d'appareils dentaires ou dans le domaine du design pour produire des objets permettant le passage de la lumière, tels que des lampes design ou des éléments en verre. Les technologies les plus répandues pour l'impression 3D de ces plastiques transparents sont le frittage laser, la stéréolithographie et le polyjet.

Métaux

- **Aluminium** : L'aluminium est souvent utilisé dans des alliages où il est combiné avec du silicium et du magnésium. Ces alliages présentent à la fois une résistance élevée et une légèreté, ce qui les rend particulièrement adaptés à des applications dans l'industrie aérospatiale et les moteurs.
- **Acier** : Également connu sous le nom d'inox, l'acier inoxydable est un matériau très répandu dans l'industrie et compte parmi les plus anciens utilisés. Il se distingue par ses excellentes propriétés mécaniques et peut être associé à des métaux précieux tels que l'or ou l'argent.
- **Cobalt-chrome** : Jusqu'à récemment, l'alliage cobalt-chrome était principalement utilisé dans des procédés de moulage, mais grâce à la technologie EBM (Electron Beam Melting), il peut désormais être exploité en impression 3D. Cet alliage se caractérise par sa solidité et sa grande résistance à l'usure, ce qui en fait un choix courant dans la fabrication de prothèses médicales et dans l'industrie dentaire. Certaines variantes du

CHAPITRE 1 : Généralités sur l'imprimante 3D et l'impression 3D

cobalt-chrome sont capables de résister à des températures élevées, ce qui les rend idéales pour la production de moules.

- **Titane** : Le titane est largement apprécié par les industriels en raison de son excellente résistance/poids, ainsi que de sa résistance à la corrosion. Certains alliages contenant du titane sont biocompatibles, ce qui les rend adaptés à une utilisation dans les prothèses. En effet, le titane présente une adhérence exceptionnelle aux tissus, y compris à l'os, ce qui le rend particulièrement bénéfique dans ce domaine.

Céramiques :

L'impression 3D présente un intérêt indéniable dans la fabrication d'objets céramiques complexes. Deux méthodes sont généralement utilisées à cet effet : le procédé SLA qui combine de la résine liquide avec de la céramique, ou la technique SLS qui utilise de la poudre de céramique. Il est important de noter que le processus d'impression 3D céramique ne dispense pas de l'étape d'émaillage, au cours de laquelle l'objet est exposé à des températures supérieures à 1000°C pour obtenir les propriétés finales désirées.

Bois :

L'impression 3D n'implique pas la création d'objets entièrement composés de bois, mais plutôt l'utilisation d'un alliage de polymère et de bois recyclé, avec une proportion d'environ 40 % de bois. Le filament Laywoo est un exemple de matériau qui offre un aspect visuel très similaire au bois réel. En ajustant la température d'extrusion (entre 185 et 230°C), il est possible de modifier la couleur du rendu.

1.7. Etape d'impression :

L'objectif essentiel de l'impression 3D est de convertir rapidement une idée en objet concret. Pour réaliser cet objectif, il est crucial de suivre le processus d'impression qui comprend différentes étapes, notamment :

Etape 1 : Modéliser un objet 3D à partir d'un logiciel de modélisation :

La conception assistée par ordinateur (CAO) englobe l'ensemble des logiciels et des méthodes de modélisation géométrique qui permettent de créer, de tester virtuellement à l'aide d'un ordinateur, et de fabriquer des produits et les outils nécessaires à leur production. La CAO utilise également

CHAPITRE 1 : Généralités sur l'imprimante 3D et l'impression 3D

des techniques de simulation numérique pour évaluer les performances et les caractéristiques des produits avant leur fabrication.

Etape 2 : Exporter notre modélisation au format (.STL) (Stéréolithographie) :

Le format STL est couramment utilisé dans le domaine du prototypage rapide et de la fabrication assistée par ordinateur. Ce format de fichier permet de décrire un objet en spécifiant sa surface externe. Cette surface est représentée par une série de triangles ou defacettes. Chaque triangle est défini par ses coordonnées cartésiennes (x, y, z). Les coordonnées des sommets doivent être des valeurs positives. De plus, chaque triangle doit partager deux sommets avec chacun des triangles adjacents, ce qui signifie qu'aucun sommet d'un triangle ne doit être situé sur l'arête d'un autre triangle. Il est recommandé de trier les points par ordre croissant selon la coordonnée z afin de faciliter la lecture du fichier par certains logiciels.

Etape 3 : Ouvrir le fichier STL à partir d'un logiciel de découpe et définition des couches :

Le logiciel effectue le découpage du matériau et du support en fonction des paramètres définis tels que l'épaisseur des couches, le remplissage et l'échelle. Cette opération permet d'ajuster les propriétés de l'objet imprimé, en déterminant la structure et la disposition des couches successives.

Etape 4 : Lancement d'impression : Cette étape de l'impression varie en fonction du type d'imprimante et de la technologie utilisée. La méthode d'impression peut différer en fonction de ces facteurs.

Etape 5 : Récupération de l'objet 3D : Une fois que l'impression est terminée, ce qui prend généralement quelques heures, on peut récupérer l'objet finalisé.

1.8. Technologies d'impression :

- **La Stéréolithographie :** Le prototypage rapide, également connu sous le nom de fabrication additive, est une technique qui permet de créer des objets solides à partir d'un modèle numérique. Elle consiste à superposer des tranches fines de matériau pour obtenir l'objet souhaité. Cette technique a connu un développement industriel à partir des années 1980, notamment grâce aux travaux pionniers de Charles W. Hull aux États-Unis.
- **La fabrication du filament fondu (FFF) :** Cette technique implique la fusion d'un

CHAPITRE 1 : Généralités sur l'imprimante 3D et l'impression 3D

filament de matière synthétique, tel que le plastique ABS ou PLA, à travers une buse chauffée à une température comprise entre 160 et 400 °C. Un fin fil de plastique fondu, d'un diamètre d'environ un dixième de millimètre, est extrudé de la buse. Ce fil est déposé de manière linéaire et se fixe en fusionnant avec les couches précédemment déposées.

- **Impression par jets multiples (Material Jetting):** Ce processus est comparable à celui d'une tête d'impression d'une imprimante à jet d'encre 2D traditionnelle, mais il utilise plusieurs centaines de buses de pulvérisation qui produisent des gouttelettes de résine ou de cire extrêmement fines, mesurant quelques microns.
- **Frittage par laser (SLS : Selective Laser Sintering) :** Cette méthode présente des similitudes avec la stéréolithographie, mais au lieu d'utiliser un photopolymère liquide, une poudre est utilisée. Un laser de haute puissance solidifie sélectivement la surface de la poudre, fusionnant ainsi les couches précédentes par un processus appelé frittage. Ensuite, une nouvelle couche de poudre est déposée et le processus se répète pour construire l'objet couche par couche.

1.9. Domaines d'application :

Les secteurs où l'imprimante 3D est reconnue comme une machine techniquement importante et efficace sont essentiels dans des domaines critiques tels que :

1.9.1. Aéronautique :

EADS, la maison mère d'Airbus, a pour objectif de produire toutes les composantes des avions en utilisant des techniques d'impression tridimensionnelle. Airbus utilise déjà l'impression 3D pour fabriquer certaines pièces de ses avions, notamment pour l'A350 XWB. Ce processus permet de produire des pièces plus légères de 30 à 55% par rapport aux méthodes traditionnelles de fabrication manuelle. L'A350 intègre déjà plus de 1 000 pièces fabriquées de cette manière. SpaceX a également réussi en 2014 à remplacer certaines pièces métalliques de leurs fusées par des composantes imprimées en 3D.

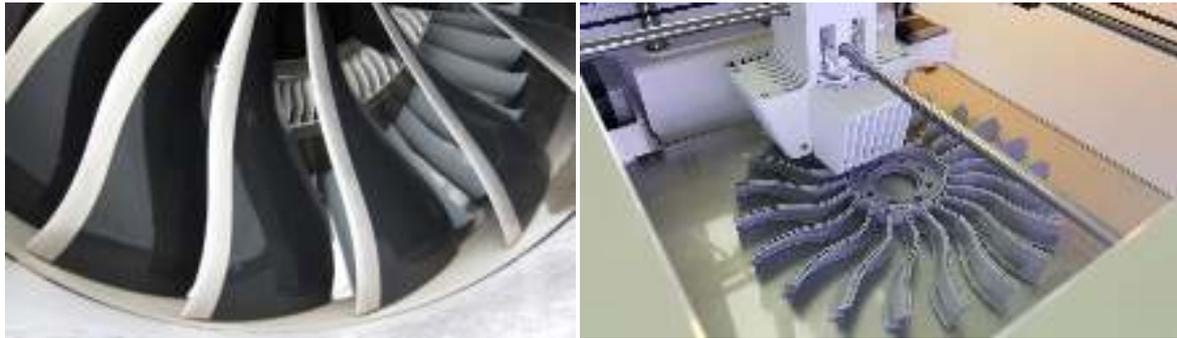


Figure 1.12: la maintenance aéronautique pourra s'appuyer sur l'impression 3D

1.9.2. Médecine et Chirurgie :

L'impression 3D a également apporté des avantages au domaine médical. Il est désormais possible de créer des matériaux similaires à l'os, ainsi que des prothèses et des implants sur mesure tels que des hanches artificielles, des bras, des appareils dentaires et auditifs personnalisés, ainsi que des exosquelettes personnalisés. Récemment, des chercheurs de l'Université de Wollongong ont développé un outil appelé le BioPen, qui permet d'imprimer des cellules souches (nerveuses, musculaires et osseuses) directement sur des zones lésées.

Grâce à l'impression 3D, il est possible de fabriquer des prothèses qui s'adaptent parfaitement à la morphologie de chaque individu. De plus, des tissus humains peuvent être créés en utilisant des techniques d'impression 3D par laser, un défi relevé par l'entreprise bordelaise Poietis.



Figure 1.13: imprimante 3D en chirurgie



Figure 1.14: Quand l'impression 3D

CHAPITRE 1 : Généralités sur l'imprimante 3D et l'impression 3D

1.9.3. Armes et armée :

L'armée américaine a adopté ce projet d'armes et le commandement de l'armée a proposé la création d'usines mobiles pour produire des pièces en plastique destinées aux fusils et aux armes. Selon les informations fournies par l'armée américaine, l'utilisation de l'impression 3D permet de réduire les coûts de production de 97% et les délais de production de 83%.



Figure 1.15: Aux États-Unis, fabriquer soi-même des armes à feu relève désormais de la liberté d'expression

1.9.4. Architecture :

Les imprimantes 3D sont employées pour concrétiser des concepts architecturaux et ont été développées afin de pouvoir réaliser des constructions de taille réelle. En 2013, WinSun a construit dix maisons et villas en utilisant l'impression 3D. De plus, en mars 2017, une start-up américaine a réussi à imprimer une maison entière en seulement vingt-quatre heures.



Figure 1.16: une imprimante 3D qui ressemble à une guède bâtiments



Figure 1.17: l'impression 3D mobile

CHAPITRE 1 : Généralités sur l'imprimante 3D et l'impression 3D

1.9.5. Domaine de l'industrie :

L'impression 3D a acquis une place cruciale dans l'industrie, avec des avancées majeures à partir du début des années 2010, permettant l'impression de matériaux métalliques avec une grande précision.



Figure 1.18: le RAMLAB poursuit la fabrication additive d'une hélice de bateau



Figure 1.19: Fabrication additive Impression 3D

Chapitre 2

Etude descriptive de l'imprimante

Creality

CR-10-S4

Chapitre 02 : Etude descriptive de l'imprimante Creality CR-10-S4

2.1. Présentation de l'imprimante Creality CR-10-S4 :

La Creality CR-10 S4, une imprimante 3D abordable, a récemment réussi brillamment pour faire partie des modèles acclamés en ligne. Disponible depuis l'été 2016, cette imprimante 3D de Creality est une machine volumineuse de type cartésien. Son boîtier de contrôle est distinct de la structure principale.



Figure 2.1: imprimante 3D Creality CR-10 S4 au laboratoire MECACOMP

Chapitre 02 : Etude descriptive de l'imprimante Creality CR-10-S4

2.1.2. Caractéristiques :

2.1.2.1. Information générales :

Type : particulier /bureau

Assemblée/kit : kit

Technologie :Fused Deposition Modelling (FDM/FFF)

Matières : PLA/Woodfill/ABS/Flexibles/TPU

2.1.2.2. Performance :

Volume d'impression maximal : 400 mm×400 mm ×400mm

Hauteur de couche minimale : 100µm

Hauteur de couche maximale : 400µm

Vitesse d'impression maximale : 200mm/s

2.1.2.3. Matériel :

Nombre d'étude : 1

Diamètre buse (par défaut) : 0.4mm

Diamètre du filament : 1.75mm

Lit d'impression : chauffant

Filtre à particules :

Poids : 14 kg

Alimentation : Input 110-240V, Output 12V

Connectivité : USB/SD Card

Ecran de contrôle : LCD

2.1.2.4. Logiciel :

Système d'exploitation : Linux/Mac/Windows XP /Vista

Logiciel : Cura, Simplify 3D, Repetier-Host, Creality Slicer

Formats de fichier : OBJ/STL/GCODE/AMF

2.2. Software de commande de l'imprimante :

2.2.1. Les Logiciel d'impression 3D :

Simplify3D :

Simplify3D est un logiciel payant qui offre une compatibilité avec de nombreuses imprimantes. Il permet de simuler des impressions de manière réaliste et de détecter les problèmes potentiels avant l'impression. Simplify3D optimise automatiquement la disposition des supports pour accélérer le processus d'impression et obtenir une surface de qualité maximale. Il offre également la possibilité de modifier cette disposition de supports. Le logiciel peut lire les fichiers STL, OBJ et 3MF, et propose l'exportation vers les formats G-code, x3g, makerbot, 3w, g3drem, BFB et HSV.

Une licence coûte \$150 USD.



Figure 2.2: Simplify3D programme

Slicer3D :

Slicer 3D est un logiciel open-source conçu pour l'analyse, le traitement et la visualisation en 3D d'images médicales. Il permet d'utiliser des images provenant de scanners CT, MRI et d'imagerie nucléaire. Ce logiciel est compatible avec la plupart des systèmes d'exploitation.

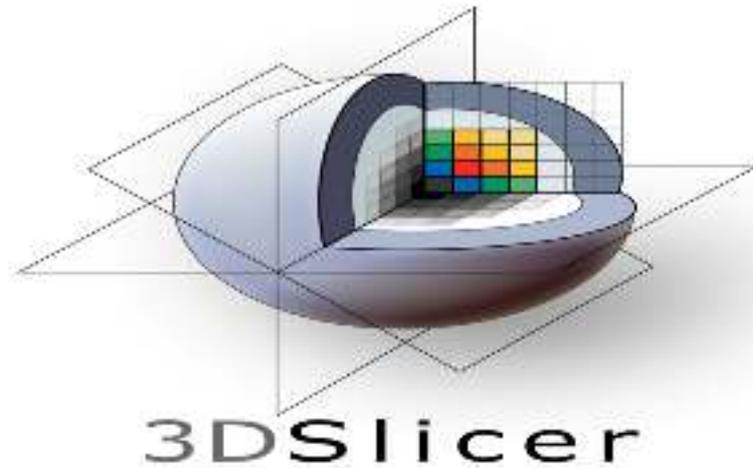


Figure 2.3: 3DSlicer programme

3Dsystems :

3D Systems propose une variété de logiciels pour l'impression 3D, comprenant des logiciels de numérisation, de conception, de préparation et d'optimisation pour l'impression 3D, ainsi que des logiciels spécifiques à l'industrie médicale. Dans le domaine de la santé, ils proposent trois logiciels : D2P, PROcedure Rehearsal Studio et Symbionix Mentor Lean. Symbionix est un système de gestion de simulation, PROcedure Rehearsal Studio permet de planifier et de simuler des procédures endoscopiques, tandis que D2P (DICOM to PRINT) est un logiciel qui permet de créer des modèles anatomiques 3D à partir d'images médicales. Ce logiciel est conçu pour être convivial et accessible aux cliniciens, ne nécessitant qu'une expertise technique minimale. Il est important de noter que D2P a été approuvé par la FDA (Food and Drug Administration) à ce jour.



Figure 2.4: 3Dsystems programme

Slic3r :

Slic3r est un générateur de G-code open-source qui est compatible avec la plupart des imprimantes FDM de bureau, telles qu'Ultimaker et Makerbot. Il est également compatible avec certaines imprimantes DLP. Slic3r est capable de lire des fichiers aux formats STL, AMF et OBJ, et peut exporter en G-code et en fichiers SVG. Ce logiciel offre la possibilité de gérer des extrudeurs multiples et dispose d'une interface conviviale et intuitive.



Figure 2.5: Slic3r programme

2.3. Logicielle cura ultimaker :

2.3.1 Définition :

Cura est un logiciel d'impression 3D produit par Ultimaker. Il est gratuit, facile à utiliser et est approuvé par des millions d'utilisateurs, cura dispose de plus de 400 paramètres qui permettent aux utilisateurs d'affiner leurs modèles 3D pour Windows, Mac et Linux. Ce programme transforme le fichier STL au format G-code qui contient toutes les instructions à donner à l'imprimante pour extruder la matière et fabriquer la pièce en couches.

2.3.2. Paramètre de cura :

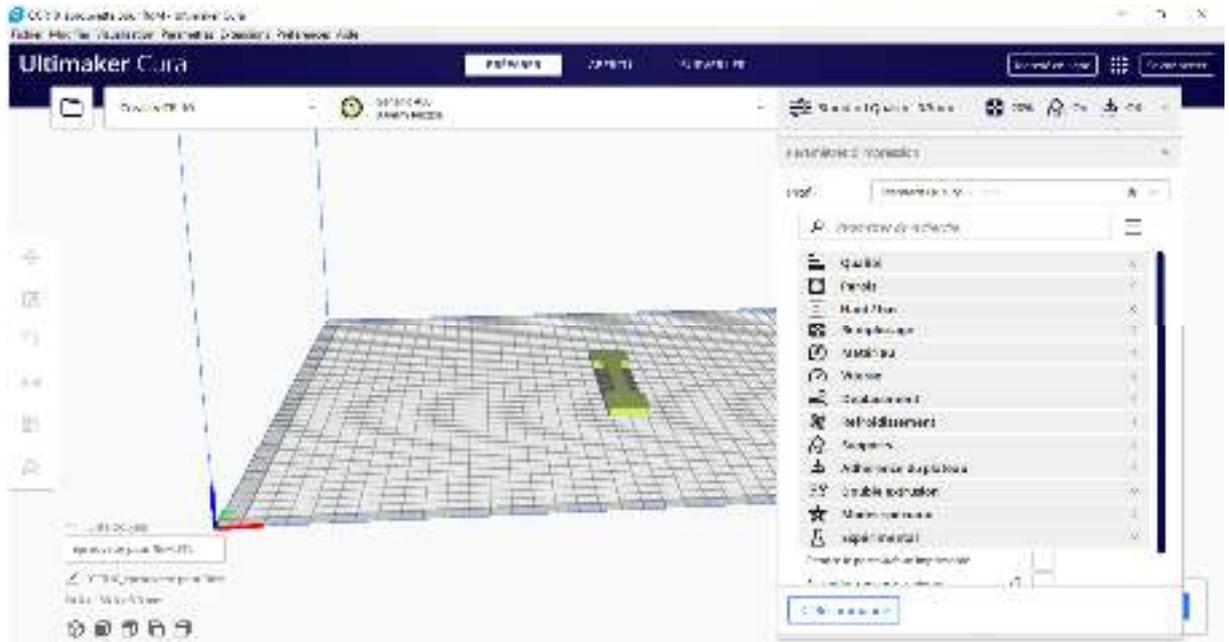


Figure 2.6: Interface de logiciel ultimaker cura

Les termes utilisés dans Ultimaker cura pour chacun des paramètres sont clairs pour que l'on comprenne leurs rôles.

On va voir d'abord les paramètres :

Qualité : la hauteur couche c'est la hauteur de chaque couche en mm. Des valeurs plus élevées créent des impressions plus rapides avec une faible résolution, les valeurs plus basses entraînent des impressions plus lentes avec une meilleure résolution.

Parois : épaisseurs de paroi en sens horizontale. En définir l'épaisseur des parois en multipliant par deux ou par trois l'épaisseur de ligne est suffisant, une valeur plus haute créent un modèle plus solide et limite les chances de fuite avec une valeur plus basse peut diminuer les coûts en temps et en matériau.

Haut/bas : l'épaisseur des couches du dessus/dessous dans l'impression. Cette valeur en multipliée par la hauteur de la couche définit le nombre de couches du dessus/dessous.

Remplissage : la densité du remplissage adépte l'impression et détermine la quantité de plastique utilisée à l'intérieur de l'impression pour le remplissage. Une densité plus haute veut dire qu'il aura plus de matière à l'intérieur de l'impression, menant à un objet plus solide et résistant. Une densité de 20% est utilisée pour les modèles avec un but purement visuel alors qu'une densité plus élevée peut être appliquée les pièces utilisables et fonctionnelles.

Le motif du matériau de remplissage de l'impression. Le remplissage en ligne et en zig-zag changent de direction à chaque couche ; diminuer le coût en matériau. Les motifs en grille, en triangles, en tri-hexagones, cubiques, en quart cubique et concentriques sont imprimés à chaque

Chapitre 02 : Etude descriptive de l'imprimante Creality CR-10-S4

ligne. Les motifs cubiques, quarts cubiques changent à chaque ligne pour équilibrer une distribution de force plus égale dans chaque direction. Donc, le pourcentage de remplissage est sous-optimal d'une seule couche par rapport à ce que le modèle doit soutenir.

Matériau : température de l'impression par défaut. Il est nécessaire que celle-ci soit équivalente à la température de base du matériau telle que spécifiée par le fabricant. Toutes les autres températures doivent être réglées à partir de cette température avec un décalage négatif ou positif.

Vitesse : la vitesse d'impression correspond à la vitesse à laquelle les mouvements sont effectués.

Déplacement : le balayage garde la buse d'extrusion dans les zones déjà imprimées lors des déplacements. Cela pour conséquence un temps de déplacement légèrement plus long mais réduit le besoin de réaction.

Refroidissement : activer les ventilateurs de refroidissement pendant l'impression. Les ventilateurs améliorent la qualité des couches avec des mouvements rapides ainsi que des parties en porte-à-faux et des ponts.

Supports : génère une structure pour soutenir les parties du modèles présentent un porte-à-faux. Sans ces structures, ces parties seraient susceptibles de s'effondrer.

L'Adhérence du Plateau : il existe plusieurs options qui permettent d'améliorer à la fois la préparation de l'extrusion et l'adhésion de l'impression au plateau. Vous avez le choix entre plusieurs possibilités, notamment la jupe, la bordure ou le radeau.

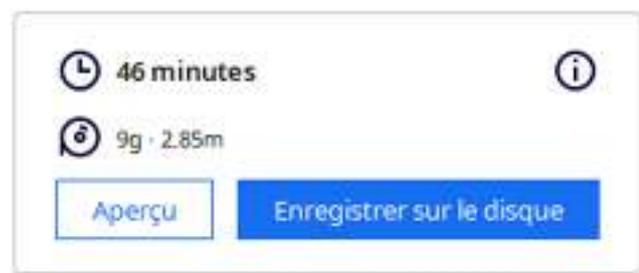


Figure 2.7: Estimation de durée et du matériau

2.4. Les différents motifs de remplissage :

Il y a une grande variété de motifs disponibles et il est souvent difficile de décider lequel choisir et pourquoi opter pour l'un plutôt que l'autre. Pour commencer, examinons la liste des motifs et leurs distinctions.

Lignes :

Ce motif est similaire à la grille, mais il offre une impression beaucoup plus rapide.

- Ce motif s'imprime très rapidement.
- Il est idéal pour supporter la coque supérieure.
- Il présente une résistance horizontale très faible.
- Sa résistance verticale est également faible.

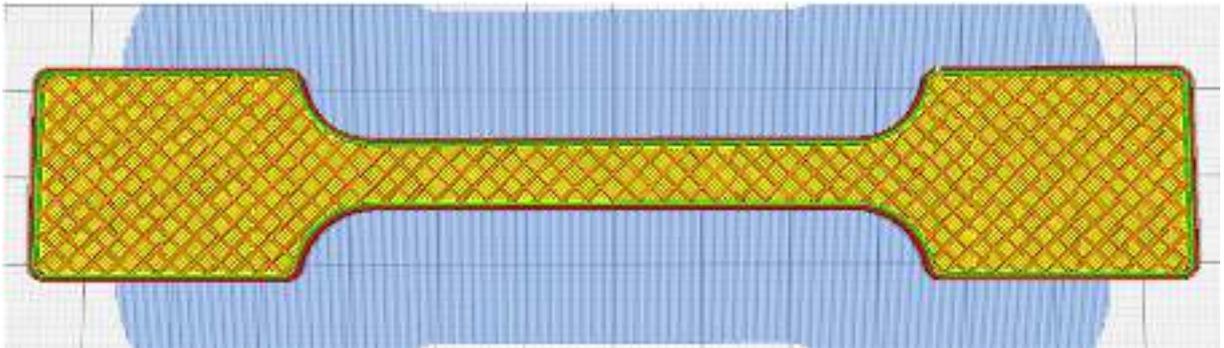


Figure 2.8: motif de remplissage ligne

Triangles :

Ce motif est constitué de trois lignes orientées dans des directions différentes.

- Il présente une très grande résistance au cisaillement.
- Les résistances sont équivalentes dans toutes les directions.
- Il nécessite une quantité plus importante de coque pour obtenir une surface lisse.
- Sa résistance diminue lorsque le taux de remplissage est élevé.

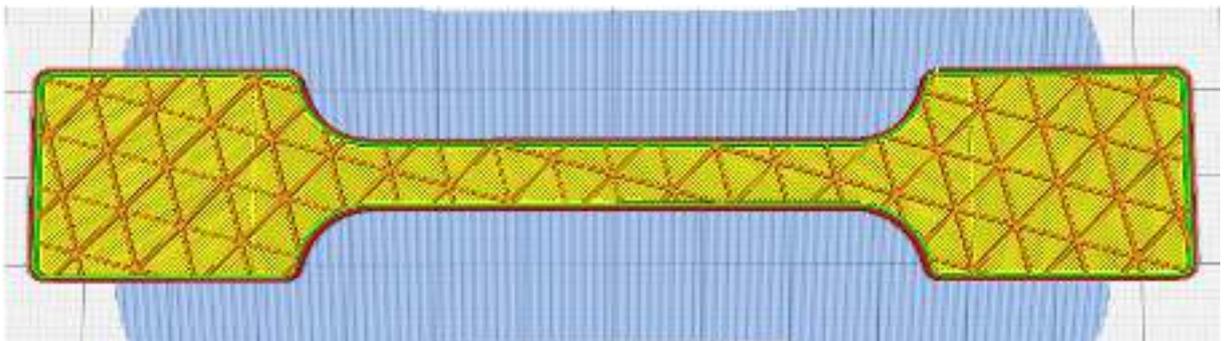


Figure 2.9: motif de remplissage triangle

Cubique :

Ce motif permet d'imprimer un cube en 3D à l'intérieur de l'objet.

- Il présente une résistance dans toutes les directions.
- Il offre une bonne résistance verticale.
- Sa force est équivalente dans toutes les directions.
- Il réduit l'effet de trous sur la surface supérieure.

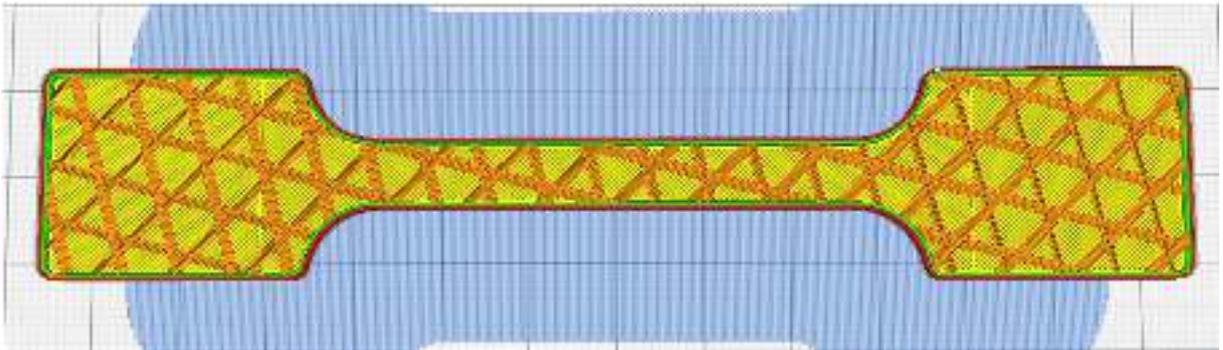


Figure 2.10: motif de remplissage cubique

Gyroïde :

Le motif de remplissage gyroïde crée une structure ondulée qui alterne dans toutes les directions.

- Ce motif est perméable aux fluides.
- Il présente une résistance dans toutes les directions.
- Il est également résistant au cisaillement.
- Il convient particulièrement aux filaments flexibles, bien qu'il soit moins souple que les motifs en croix.

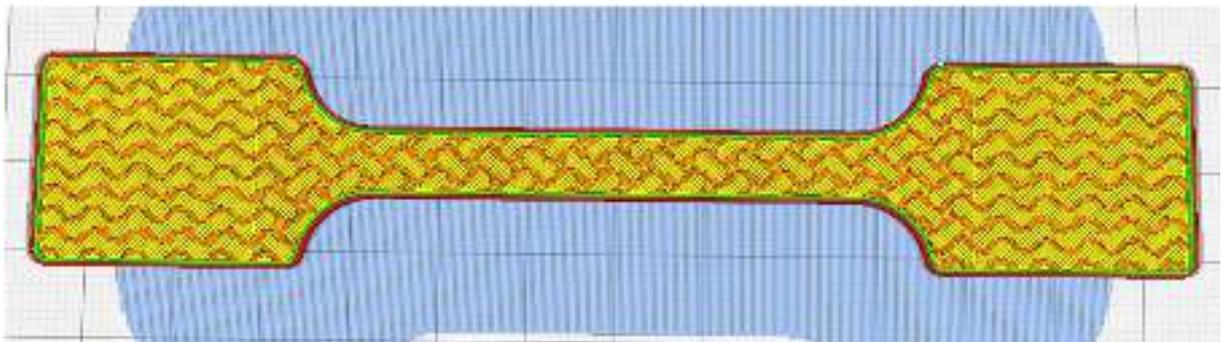


Figure 2.11: motif de remplissage gyroïde

2.5. Les différents de position d'impression :

Quand on réfléchit à la position pour réaliser une impression 3D, on a le choix entre trois options principales : horizontale, verticale, et plat. Le choix de la position idéale dépend de plusieurs éléments, tels que la résistance recherchée, la précision, la qualité de la surface et la durée de fabrication de l'objet imprimé.

Position horizontale : L'option de l'impression horizontale peut conduire à une construction plus rapide grâce à une réduction du nombre de couches requises. Cependant, cette orientation peut ne pas être la plus appropriée pour atteindre la solidité et la qualité de finition désirées, en particulier lorsqu'il s'agit de caractéristiques dimensionnelles critiques ou de détails nécessitant une haute résolution.

Position verticale : l'impression d'un objet en position verticale peut aboutir à une structure plus résistante, car les couches sont alignées avec les forces appliquées. Cependant, cette méthode peut nécessiter davantage de temps d'impression en raison de l'augmentation du nombre de couches. En outre, l'impression verticale peut donner lieu à des finitions de surface qui ne sont pas optimales, en particulier lorsque l'aspect esthétique revêt une importance particulière.

Position plate : L'objet est imprimé en étant couché à plat, aligné avec la surface de construction. Cette approche peut accélérer le processus d'impression, mais elle pourrait compromettre la solidité et la qualité de la finition.

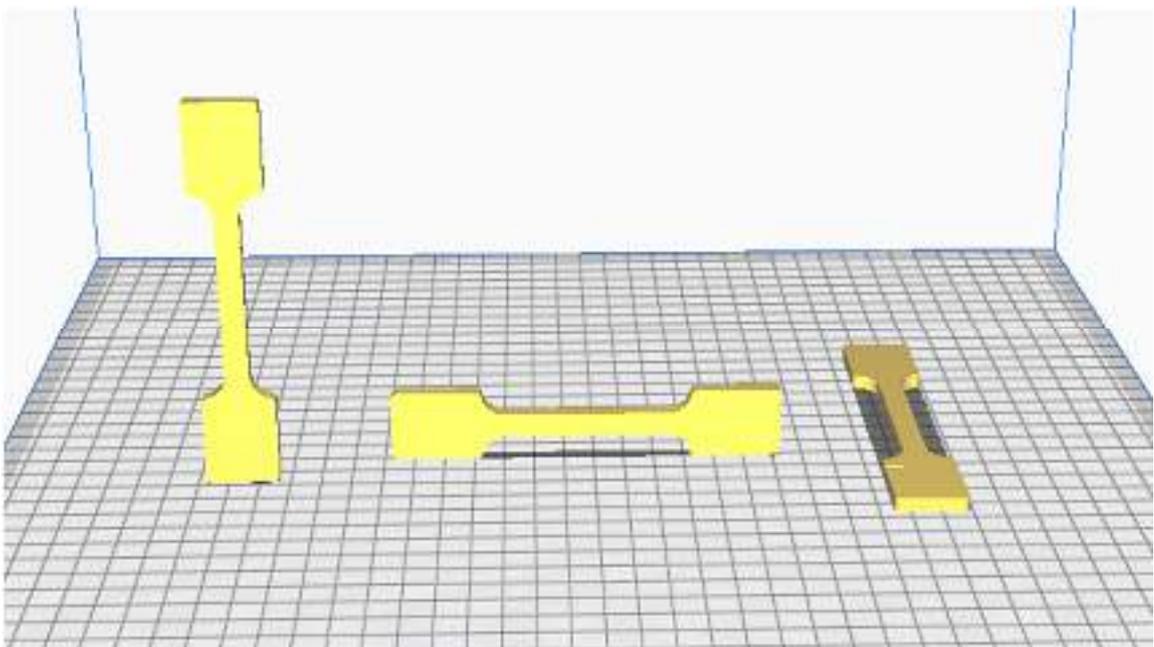


Figure 2.12: Les différents de position d'impression

Chapitre 3

Etude mécanique

sur des

éprouvettes

imprimées en 3D

Chapitre 3 : Etude mécanique sur des éprouvettes imprimées en 3D

3.1. Essai de traction :

3.1.1. Généralités :

L'essai est utilisé afin d'examiner le comportement en traction des spécimens, pour déterminer leur résistance à la traction, leur module d'élasticité en traction et d'autres aspects liés à la relation entre contrainte et déformation sous des conditions spécifiques. Le principe de l'essai consiste à soumettre le spécimen à une force de traction le long de son axe principal avec une vitesse constante, jusqu'à la rupture, où la contrainte (charge) et la déformation (allongement) atteignent leurs valeurs maximales. Pendant cette procédure, les mesures de la charge et de l'allongement subis par le spécimen sont enregistrées.

La norme énonce les principes fondamentaux pour mener à bien l'essai, notamment les matériaux pouvant être soumis à l'essai, les méthodes de calcul des propriétés mécaniques, les caractéristiques géométriques des échantillons, les procédures opérationnelles, etc.



Figure 3.1: Essai de traction sur la machine Controlab 600KN au laboratoire matériaux de construction

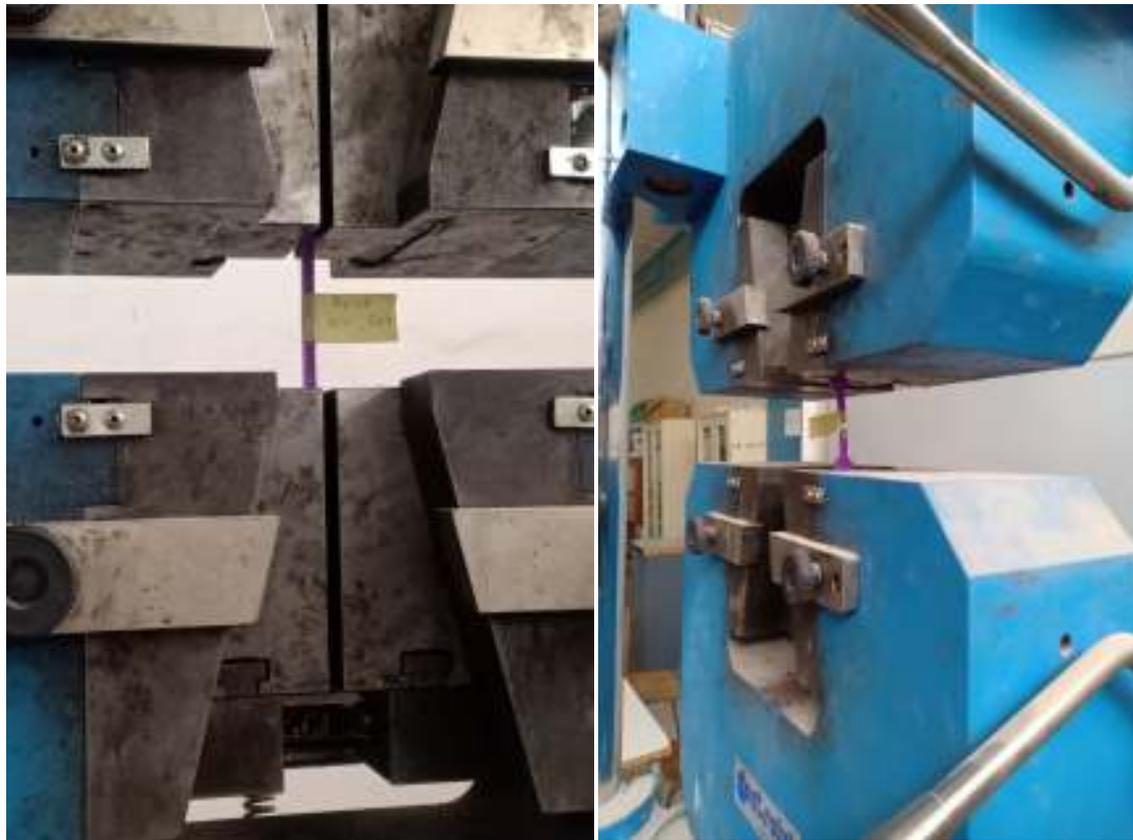


Figure 3.2: Spécimen fixé entre les morts de la machine Controlab 600KN (Avan et après l'essai)

3.1.2. Eprouvette :

Eprouvettes de traction plate est réalisé par impression 3D selon la norme ISO 527-2, la figure 3.3 et 3.4 représente le model 3D et les dimensions de l'éprouvette, les figures 3.5 représente l'éprouvettes imprimées en 3D, la figure 3.6, les échantillons avant et après l'essai.

Chapitre 3 : Etude mécanique sur des éprouvettes imprimées en 3D

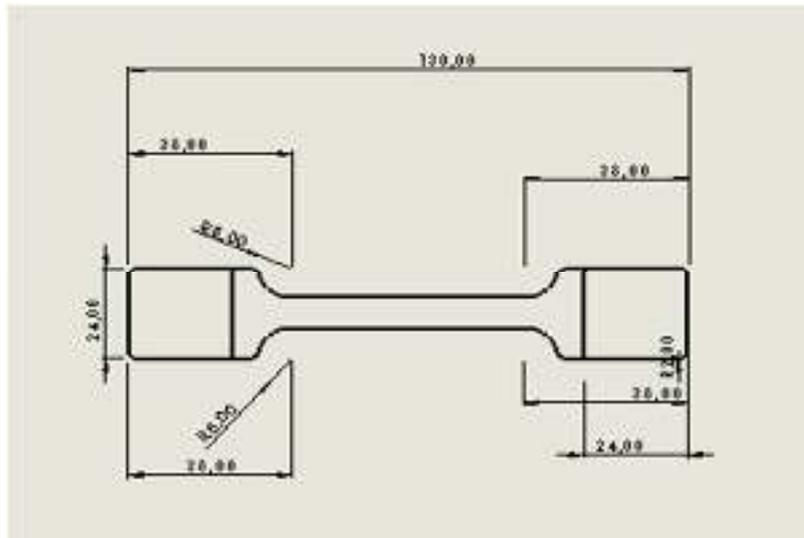


Figure 3.3: Dimensions caractéristiques des éprouvettes

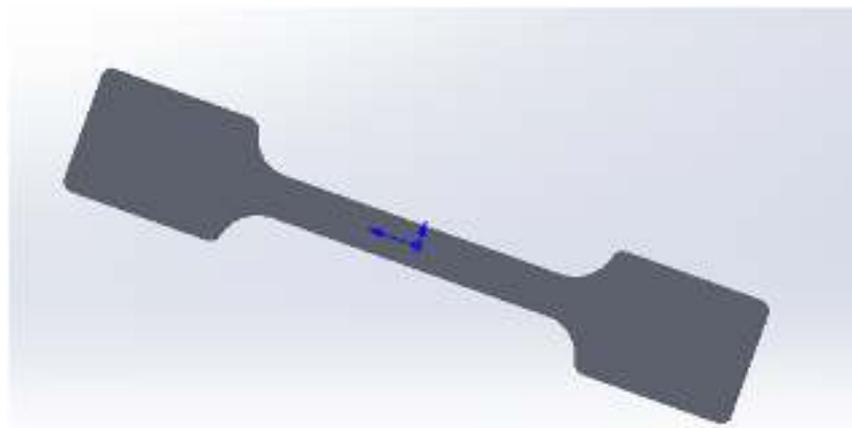


Figure 3.4: Epreuve conçue sur Solidworks



Figure 3.5: Eprouvette réelle imprimé en 3D

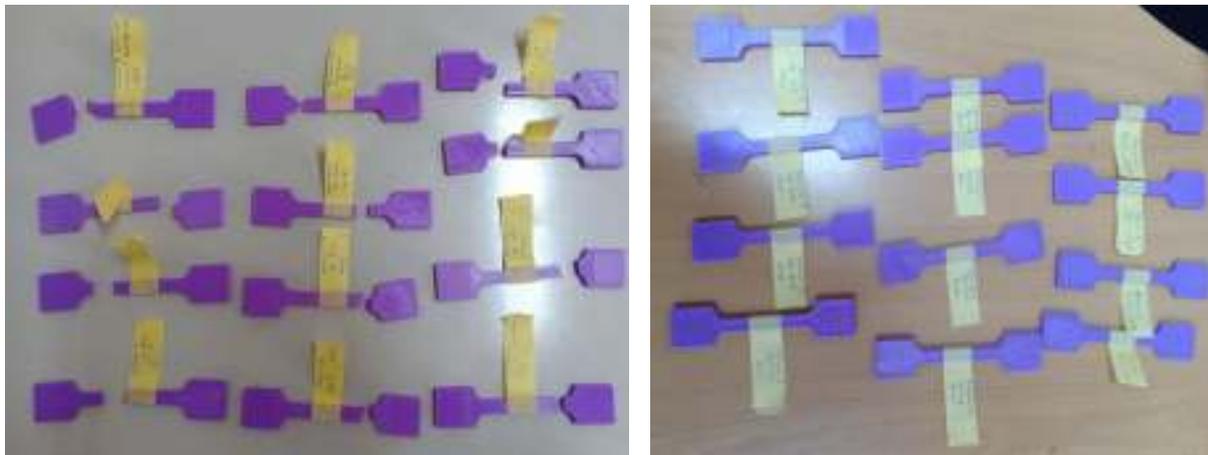


Figure 3.6: Eprouvettes imprimées en 3D avant et après rupture

3.1.3. Mode opératoire :

Lors de la réalisation des différents essais, il est essentiel de prendre en considération certaines conditions, parmi lesquelles les plus importantes sont les suivantes :

Chapitre 3 : Etude mécanique sur des éprouvettes imprimées en 3D

- La vitesse d'essai doit être de 6N/mm²/s pour les éprouvettes.
- Une longueur de référence de L=129mm.
- La longueur entre les morts de la machine est L₀= 70mm.
- La machine qu'on va utiliser c'est la machine Controlab 600KN.

3.1.4. Etude expérimental :

L'étude expérimentale consiste à faire des essais de traction à l'aide de la machine Controlab 600KN représentée dans la figure 3.1 et 3.2, les éprouvettes utilisées sont imprimées en 3D à l'aide d'un filament en PLA. Il existe différents paramètres dans l'impression 3D dont on peut citer, la hauteur de la couche, le taux de remplissage, le motif de remplissage, la position d'impression, la température, la vitesse d'impression etc, ces différents paramètres peuvent influencer la résistance des pièces imprimées. Ce qui nous ramène à l'objectif principal de ce travail, qui consiste à vérifier la résistance des pièces imprimées sous l'influence des différents paramètres.

3.1.5. Etude paramétrique :

Les éprouvettes utilisées dans cette étude ont été imprimées en trois exemplaires (nous avons effectué 39 essais (voir annexe A), le temps d'impression varie de 40min à 1h 13min par pièce, le temps d'impression dépend des choix des paramètres d'impression.) pour but d'augmenter la précision des résultats et de minimiser les erreurs de mesure obtenues dans l'essai de traction.

$$\sigma_r = \frac{F_r}{S}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

3.1.5.1. Etude de l'influence de la hauteur de la couche :

La première partie de cette étude de traction sur les éprouvettes imprimées en PLA, est consacrée à l'étude de l'influence de la hauteur de la couche d'impression, la couche d'impression permet de définir la résolution dans les objets imprimés en 3D. L'expérimentation est effectuée sur quatre hauteurs de couche différentes : 0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm et 0.4 mm en conservant un taux de remplissage 20 % et en optant pour un motif de remplissage cubique et une position d'impression plate.

Chapitre 3 : Etude mécanique sur des éprouvettes imprimées en 3D

La figure 3.7 présente la courbe de traction d'un essai sur la machine Controlab 600 KN (échantillon 3), avec une épaisseur de 0.2 mm, un taux de remplissage de 20 %, un motif de remplissage cubique, avec une position d'impression plate. La suite des résultats des essais sont données dans l'annexe A.

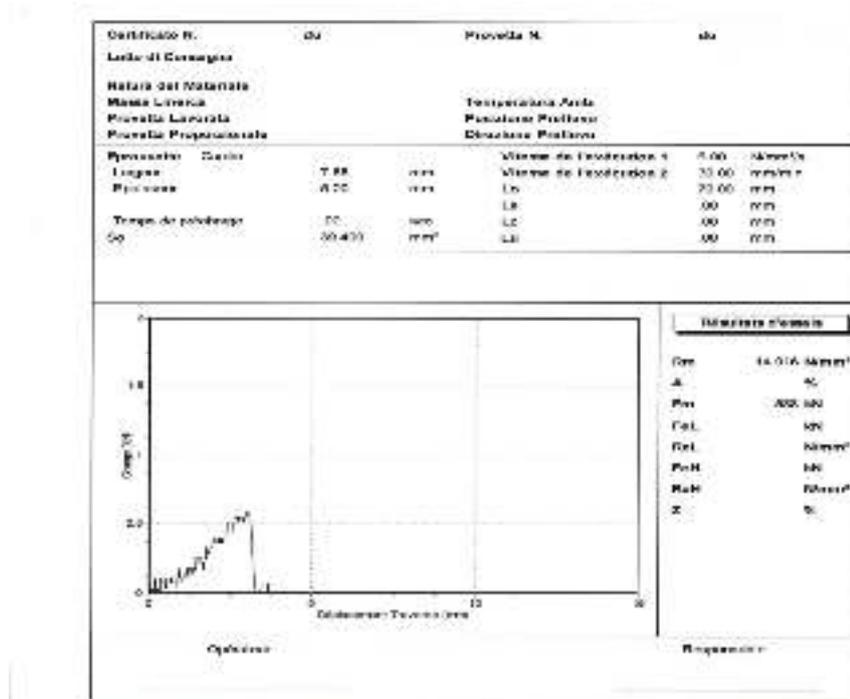


Figure 3.7: Courbe de résultat d'essai de traction de la machine Controlab 600KN, (échantillon 3, Epaisseur 0.2mm, Remplissage 20%)

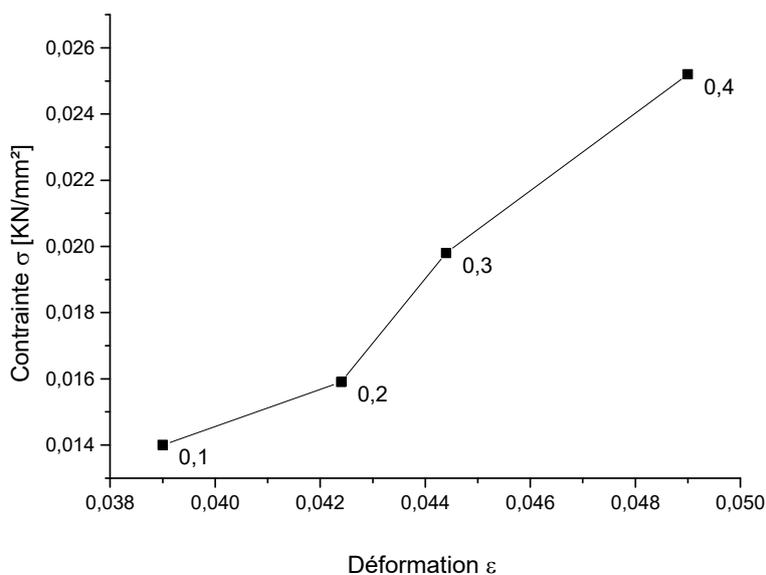


Figure 3.8: Courbe contrainte-déformation pour différente hauteurs de la couche d'impression

Chapitre 3 : Etude mécanique sur des éprouvettes imprimées en 3D

La figure 3.8 représente la variation de la contrainte de rupture σ_r en fonction de la déformation maximale ε_{max} , en fonction de la hauteur de la couche d'impression. On remarque que la contrainte et la déformation augmentent en fonction de l'épaisseur. On remarque aussi que les éprouvettes imprimées avec une épaisseur de couche de 0,1 mm sont les plus fragiles. La différence entre les éprouvettes imprimées en 0,2 mm et 0,3 mm est très légère, cependant, les éprouvettes avec une couche d'impression de 0,4 mm donnent les meilleurs résultats. On constate que les éprouvettes imprimées avec une épaisseur de 0,4 mm sont les plus résistantes.

3.1.5.2. Etude de l'influence du taux de remplissage :

La deuxième partie de cette étude expérimentale est effectuée sur quinze éprouvettes, avec un taux de remplissage de 20 %, 40 %, 60 %, 80 % et 100 %, tout en maintenant une épaisseur de couche de 0.3mm et en utilisant un motif de remplissage cubique et une position d'impression plate.

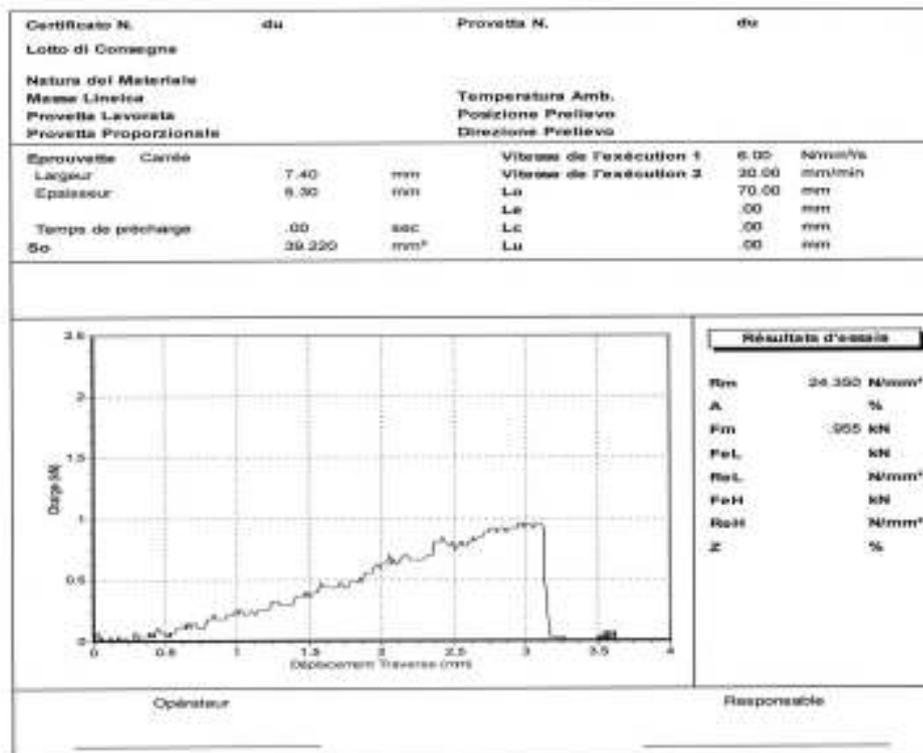


Figure 3.9: Courbe de résultat d'essai de traction de la machine Controlab 600KN, (échantillon 2, Epaisseur 0.3mm, Remplissage 60%)

La figure 3.9 représente le résultat de l'essai de traction sur la machine Controlab 600 KN (échantillon 2), avec une épaisseur de 0.3mm, un taux de remplissage 60%, un motif de remplissage cubique, et une position d'impression plate. La suite des résultats des essais sur l'annexe A.

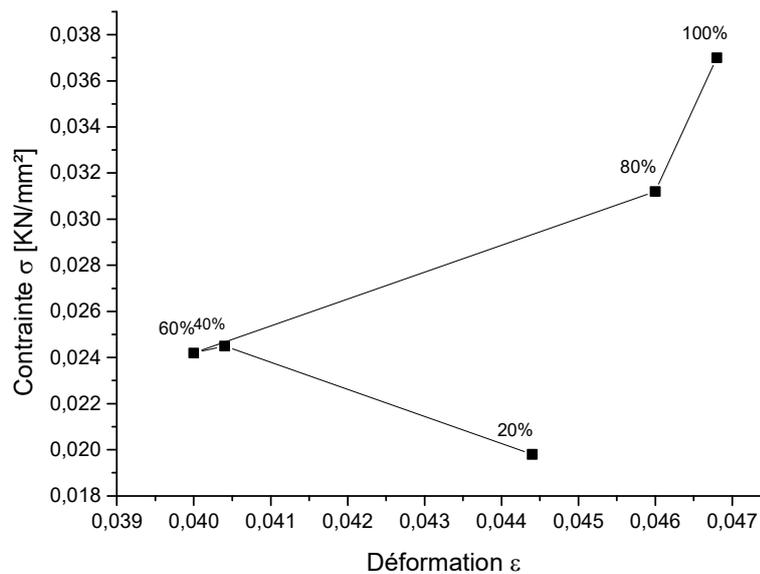


Figure 3.10: Courbe contrainte-déformation pour le taux de remplissage

La courbe sur la figure 3.10 représente la variation de la contrainte en fonction de la déformation, pour différents taux de remplissage. Il est à noter que les éprouvettes imprimées avec un taux de remplissage 20 % affichent une faible résistance, la différence entre les éprouvettes imprimées avec un taux de remplissage de 40 % et 60 % est négligeable, d'autre part les éprouvettes imprimées avec un taux de remplissage de 80 % et 100 % montrent des performances supérieures et une résistance maximale.

3.1.5.3. Etude de l'influence de motif de remplissage :

La troisième expérimentation est consacrée à l'étude de l'influence de motif de remplissage, l'étude est effectuée sur quatre motifs de remplissage différents qui sont : ligne (figure 2.8, 3.13), triangle (figure 2.9, 3.13), cubique (figure 2.10) et gyroïde (figure 2.11, 3.13), avec une hauteur fixée à 0.3mm, un taux de remplissage de 20% et une position d'impression plate.

La figure 3.11 représente le résultat de l'essai de traction sur la machine Controlab 600 KN (échantillon 1), une épaisseur de 0.3 mm, un taux de remplissage 20 %, motif de remplissage triangle, et une position d'impression plate. La suite de résultats des essais sur l'annexe A.

Chapitre 3 : Etude mécanique sur des éprouvettes imprimées en 3D

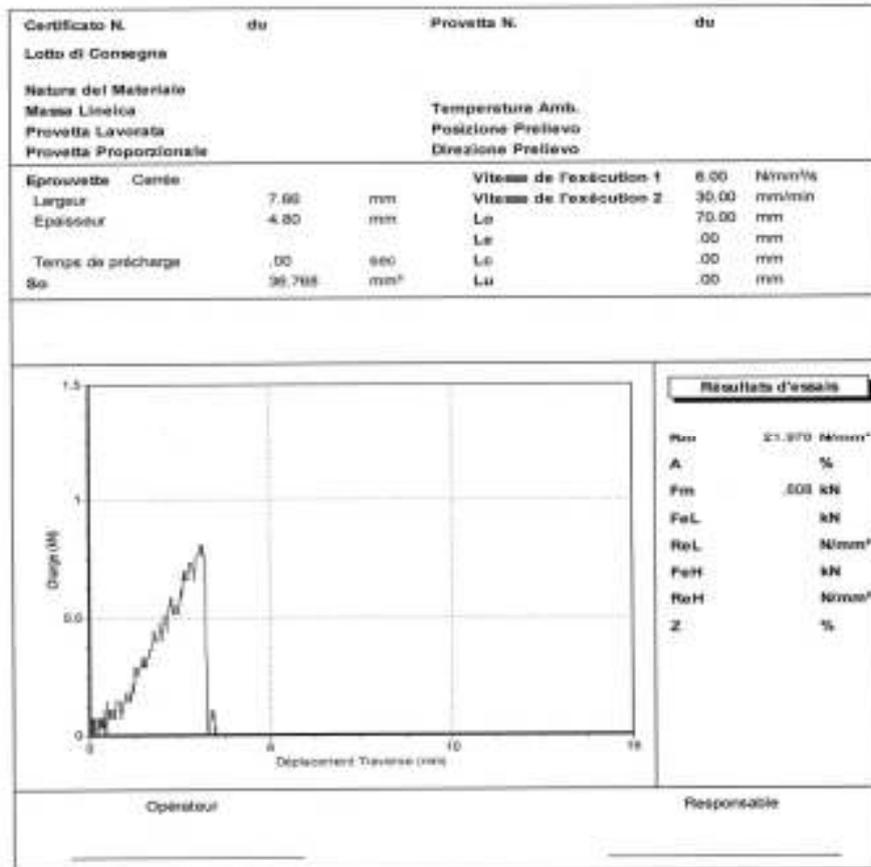


Figure 3.11: Courbe de résultat d'essai de traction sur la machine Controlab 600KN (échantillon 1, Epaisseur 0.3mm, Remplissage 20%, Motif triangle)

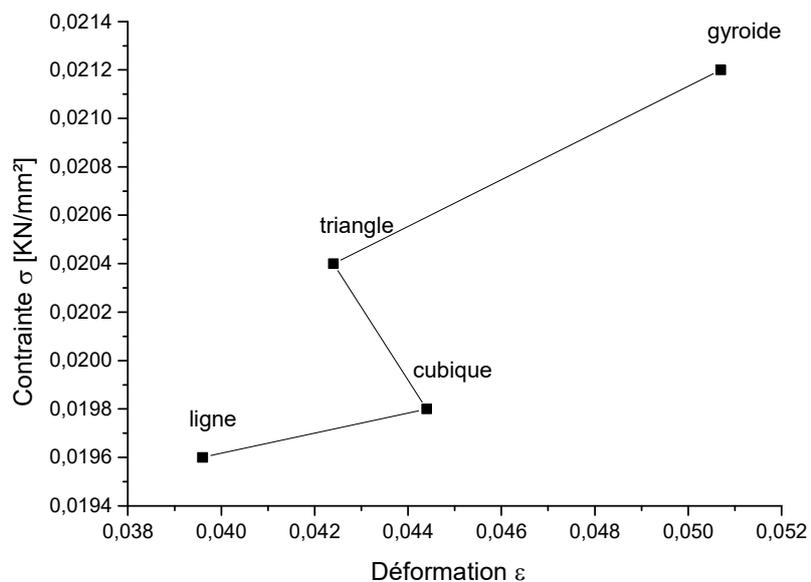


Figure 3.12: Courbe contrainte-déformation pour le motif de remplissage

Chapitre 3 : Etude mécanique sur des éprouvettes imprimées en 3D

La figure 3.12 représente la variation de la contrainte en fonction de la déformation, avec différents motifs de remplissage, on remarque que l'écart entre les résultats des éprouvettes imprimées avec un motif de remplissage en forme de ligne, et ceux en forme cubique sont proches, et aussi sont les plus fragiles, les éprouvettes imprimées avec un motif de remplissage en forme de triangle ont une résistance moyenne, par contre les éprouvettes imprimées avec un motif de remplissage en forme de gyroïde affichent une résistance maximale.

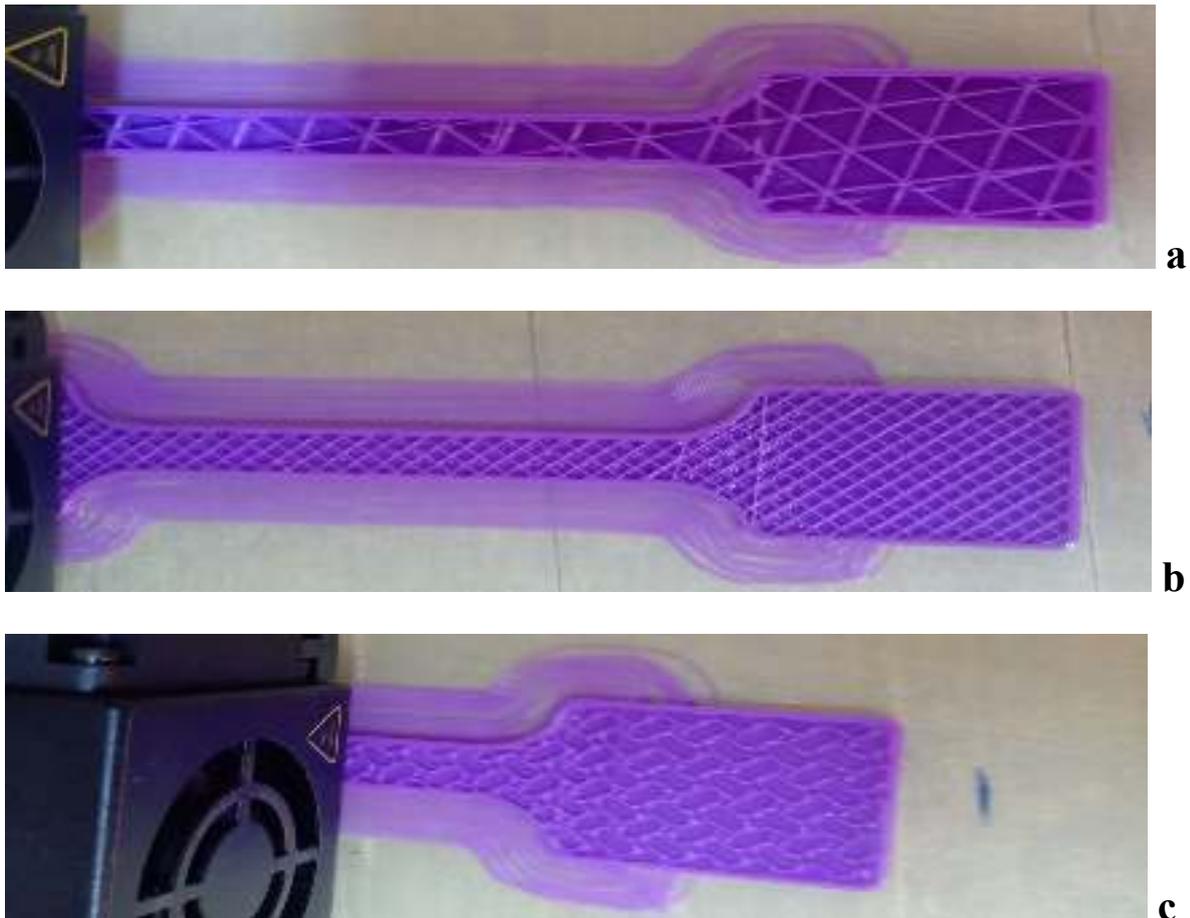


Figure 3.13: photo des motifs de remplissage, (a) triangle, (b) ligne, (c) gyroïde

3.1.5.4. Etude de l'influence de position d'impression :

La quatrième étude est effectuée sur les éprouvettes de PLA imprimées en 3D, pour but de déterminer s'il existe une influence de la position d'impression. Cette étude est réalisée avec trois positions, plate, verticale et horizontale (figure 2.12), en conservant une hauteur de couche 0.3 mm, un taux de remplissage 20%, et un motif de remplissage cubique.

Chapitre 3 : Etude mécanique sur des éprouvettes imprimées en 3D

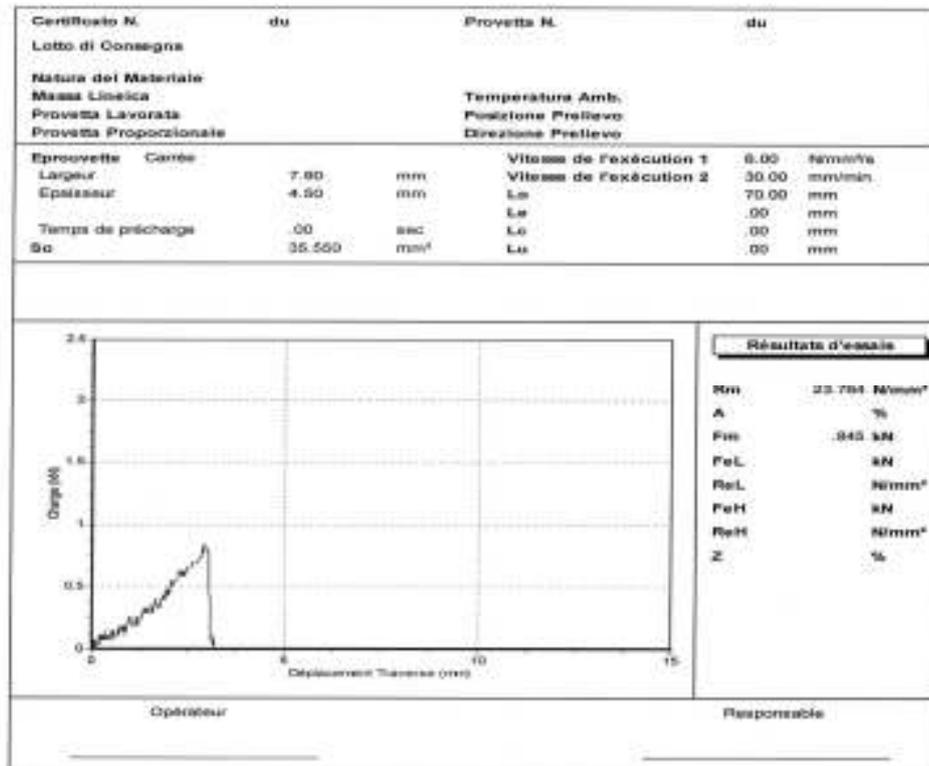


Figure 3.14: Courbe de résultat d'essai de traction sur la machine Controlab 600KN (échantillon 2, Epaisseur 0.3mm, Remplissage 20%, Position Horizontale)

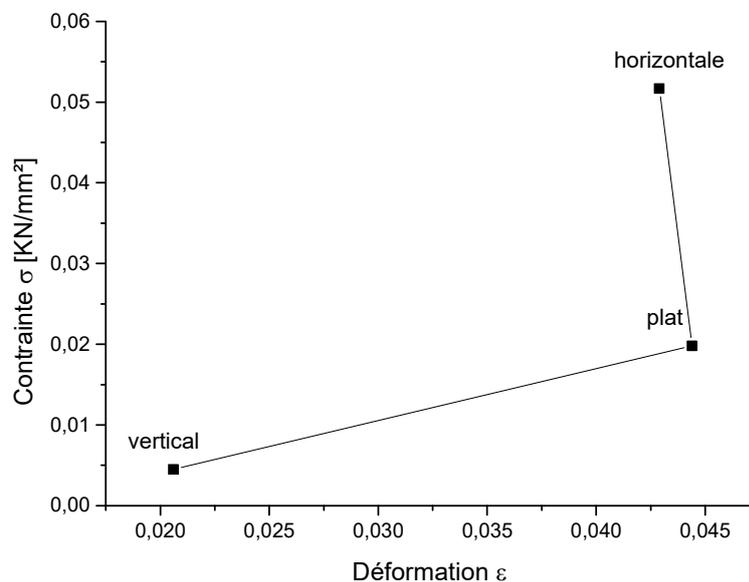


Figure 3.15: Courbe contrainte-déformation de position d'impression

La figure 3.14 représente le résultat de l'essai de traction sur la machine Controlab 600 KN (échantillon 2), l'épaisseur 0.3mm, le taux de remplissage 20% de motif de remplissage cubique et de position de remplissage horizontale. La suite de résultats des essais sur l'annexe.

Chapitre 3 : Etude mécanique sur des éprouvettes imprimées en 3D

La figure 3.15 représente la variation de la contrainte en fonction de la déformation pour les trois différentes positions d'impression. Il est noté que les éprouvettes imprimées en position verticale sont les plus fragiles, les éprouvettes imprimées dans la position plate montrent une résistance de niveau moyen, et les éprouvettes imprimées à position horizontale présentent une résistance supérieure et les meilleures performances.

3.1.6. Module de Young :

La dernière partie de cette étude, est consacrée à la détermination du module d'élasticité (module de young E), pour l'ensemble des éprouvettes imprimées en 3D, est cela pour les différents paramètres étudiés. Le module de Young est déterminé à partir des graphes obtenus dans l'expérience (Voir annexe A), et cela en appliquant la loi de Hooke.

Le tableau 3.1 représente les différentes valeurs du module de Young obtenues, pour les différents paramètres d'impression.

hauteur de couche	taux de remplissage	motif de remplissage	position d'impression
$E_{0.1mm}=3.59*10^8$ N/m ²	$E_{20\%}=4.46*10^8$ N/m ²	$E_{lignes}=4.95*10^8$ N/m ²	$E_{vertical}=2.18*10^8$ N/m ²
$E_{0.2mm}=3.75*10^8$ N/m ²	$E_{40\%}=6.06*10^8$ N/m ²	$E_{cubique}=4.46*10^8$ N/m ²	$E_{plat}=4.46*10^8$ N/m ²
$E_{0.3mm}=4.46*10^8$ N/m ²	$E_{60\%}=6.05*10^8$ N/m ²	$E_{triangle}=6.05*10^8$ N/m ²	$E_{horizontale}=1.21*10^9$ N/m ²
$E_{0.4mm}=5.14*10^8$ N/m ²	$E_{80\%}=6.78*10^8$ N/m ²	$E_{gyroïde}=4.18*10^8$ N/m ²	
	$E_{100\%}=7.91*10^8$ N/m ²		

Tableau 3.1: résultats de module de Young

Le tableau 3.1 présente les résultats du module de Young, il est calculé pour toutes les éprouvettes imprimées en 3D, on remarque que le module d'élasticité de $E_{vertical}$ représente la valeur la plus petite, pour les modules, $E_{0.1mm}$ et $E_{0.2mm}$ ils sont proches, dans le cas de motif gyroïde $E_{gyroïde}$, $E_{0.3mm}$, $E_{20\%}$, $E_{cubique}$ et E_{plat} en remarque les mêmes valeurs du module d'élasticité, les module d'élasticité $E_{triangle}$, E_{ligne} et $E_{0.4mm}$ ont des valeurs similaires, $E_{40\%}$ et $E_{60\%}$, $E_{80\%}$ présentent des valeurs de module d'élasticité également proches, le cas d'un taux de remplissage 100% où le module de Young $E_{100\%}$ présente la deuxième plus grande valeur, par contre dans le cas d'une position horizontale, $E_{horizontale}$ présente la plus grande valeur du module d'élasticité.

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'étude des caractéristiques mécaniques des pièces imprimées en 3D démontre que cette technique de fabrication additive présente un énorme potentiel. Les propriétés mécaniques des pièces dépendent de nombreux facteurs, tels que le matériau, les paramètres d'impression et la conception. Il est essentiel de comprendre ces variables pour optimiser la qualité et la performance des pièces. De plus, l'impression 3D offre des avantages en termes de personnalisation, de réduction des déchets et de complexité de conception. Cependant, des défis subsistent, notamment en ce qui concerne la reproductibilité des pièces et la qualification des matériaux. Il est clair que la recherche dans ce domaine est cruciale pour débloquer tout le potentiel de l'impression 3D dans diverses industries.

Dans ce cadre, l'objectif principal de ce projet de fin d'études, était de réaliser des tests de traction sur des pièces imprimées en 3D, où la première étape est d'imprimer des éprouvettes, avec différents paramètres d'impression, ces derniers sont les plus utilisés par les utilisateurs, cette tâche a été effectuée avec le logiciel Cura. Plusieurs paramètres ont été étudiés, le motif de remplissage, le taux de remplissage, l'épaisseur de couche et la position d'impression. Les différentes éprouvettes imprimées ont été testées en traction à l'aide de la machine de traction Controlab 600KN. Pour but d'établir une étude expérimentale sur les paramètres qui influent le plus sur les propriétés mécaniques des pièces imprimées en 3D.

Le travail effectué dans ce mémoire a permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

Le bon choix de hauteur de la couche d'impression, le taux de remplissage, le motif de remplissage et la position d'impression, permet d'avoir des pièces plus résistantes, la même conclusion peut être donnée pour le module d'élasticité.

Les perspectives des travaux qui peuvent être menées dans le même axe de recherche de ce mémoire :

- Etudier d'autres types de matériaux, comme l'ABS, PETG, Nylon, TPU, Résine liquide, etc.
- Etudier l'influence d'autres paramètres d'impression 3D, comme les vitesses, température d'impression et ambiante, etc.

Références bibliographiques :

- [1] Hull CW. Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. United States Patent 4575330, 1986.
- [2] Crump SS. Apparatus and method for creating three-dimensional objects. United States Patent 5121329, 1992.
- [3] Olszewski R, Szymor P, Kozakiewicz M. Accuracy of three-dimensional, paper-based models generated using a low-cost, three-dimensional printer. *J Craniomaxillofac Surg* 2014;42:1847-1852
- [4] Jones R, Haufe P, Sells E, Iravani P, Olliver V, Palmer C, Bowyer A. RepRap – The Replicating Rapid Prototyper. *Robotica* 2011;29:177–191.
- [5] Kabalnov AS, Wright JT, Kasperchik V. Three-Dimensional (3d) Printing. World patent WO/2016/175748, 2016.
- [6] Marro A, Bandukwala T, Mak W. Three-dimensional printing and medical imaging: A review of the methods and applications. *Curr Probl Diagn Radiol* 2016;45:2–9
- [7] Ma G, Wang L. A critical review of preparation design and workability measurement of concrete material for large scale 3D printing. *Front Struct Civ Eng* 2018;12:382–400
- [8] Azarov AV, Antonov FK, Golubev MV, Khaziev AR, Ushanov SA. Composite 3D printing for the small size unmanned aerial vehicle structure. *Compos Part B Eng* 2019;169:157–63.
- [9] S. C. Paul, Y. W. D. Tay, B. Panda, and M. J. Tan, “Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction,” *Arch. Civ. Mech. Eng.*, vol. 18, no. 1, pp. 311–319, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.acme.2017.02.008.
- [10] A. Kazemian, X. Yuan, E. Cochran, and B. Khoshnevis, “Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 145, pp. 639–647, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.015.
- [11] M. Hambach and D. Volkmer, “Properties of 3D-printed fiber-reinforced Portland cement paste,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 79, pp. 62–70, May 2017, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2017.02.001.

[12] DihyaMezi. Étude expérimentale et modélisation du procédé d'impression en 3D de pièces en thermoplastiques chargés de fibres. Matériaux. Université de Bretagne Sud, 2020. Français. ffNNT : 2020LORIS571ff. fftel-03323042.

[13]Liu, Z., Lei, Q., et Xing, S. (2019). Mechanical characteristics of wood, ceramic, metal and carbonfiber-based PLA composites fabricated by FDM. Journal of Materials Research and Technology, 8(5), 3741-3751.

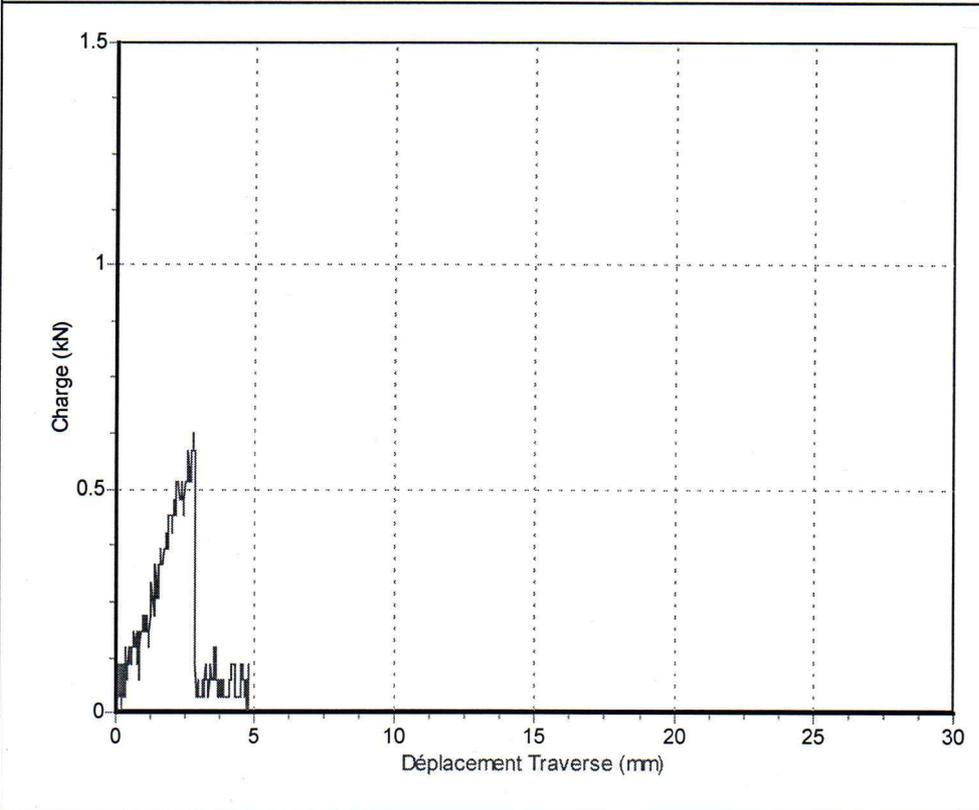
Annexe A

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	

Eprouvette	Carrée			Vitesse de l'exécution 1	6.00	N/mm ² /s
Largeur	7.88	mm		Vitesse de l'exécution 2	30.00	mm/min
Epaisseur	5.00	mm		Lo	70.00	mm
				Le	.00	mm
Temps de précharge	.00	sec		Lc	.00	mm
So	39.400	mm ²		Lu	.00	mm

--	--	--	--	--	--	--



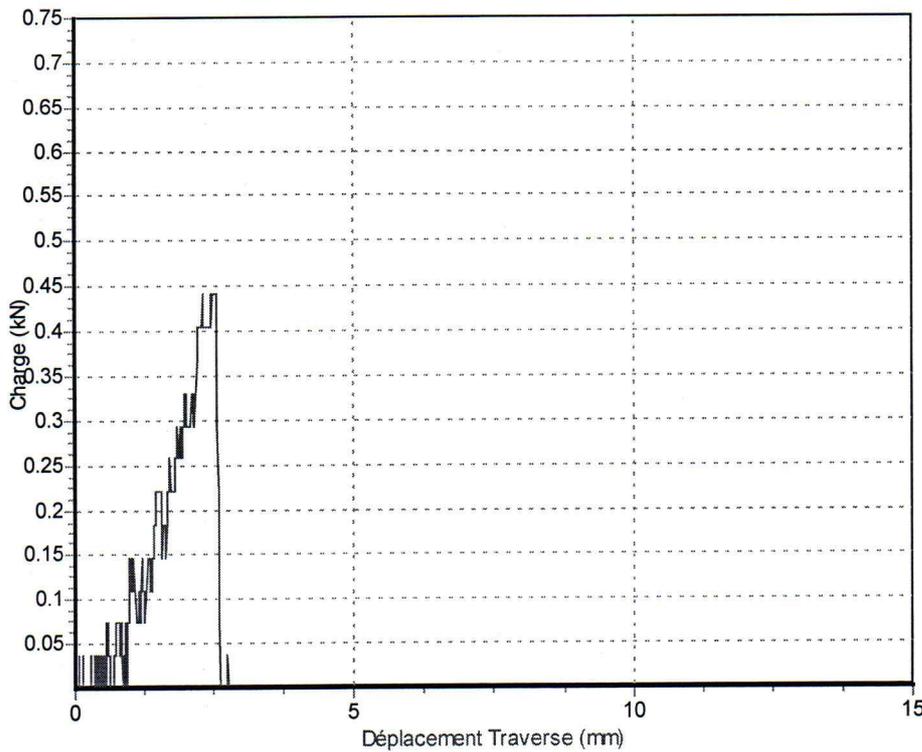
Résultats d'essais	
Rm	15.848 N/mm ²
A	%
Fm	.624 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur	Responsable
_____	_____

essai 2 epo, 1 20%

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.76 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.60 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	35.696 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

Rm	12.348 N/mm ²
A	%
Fm	.441 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

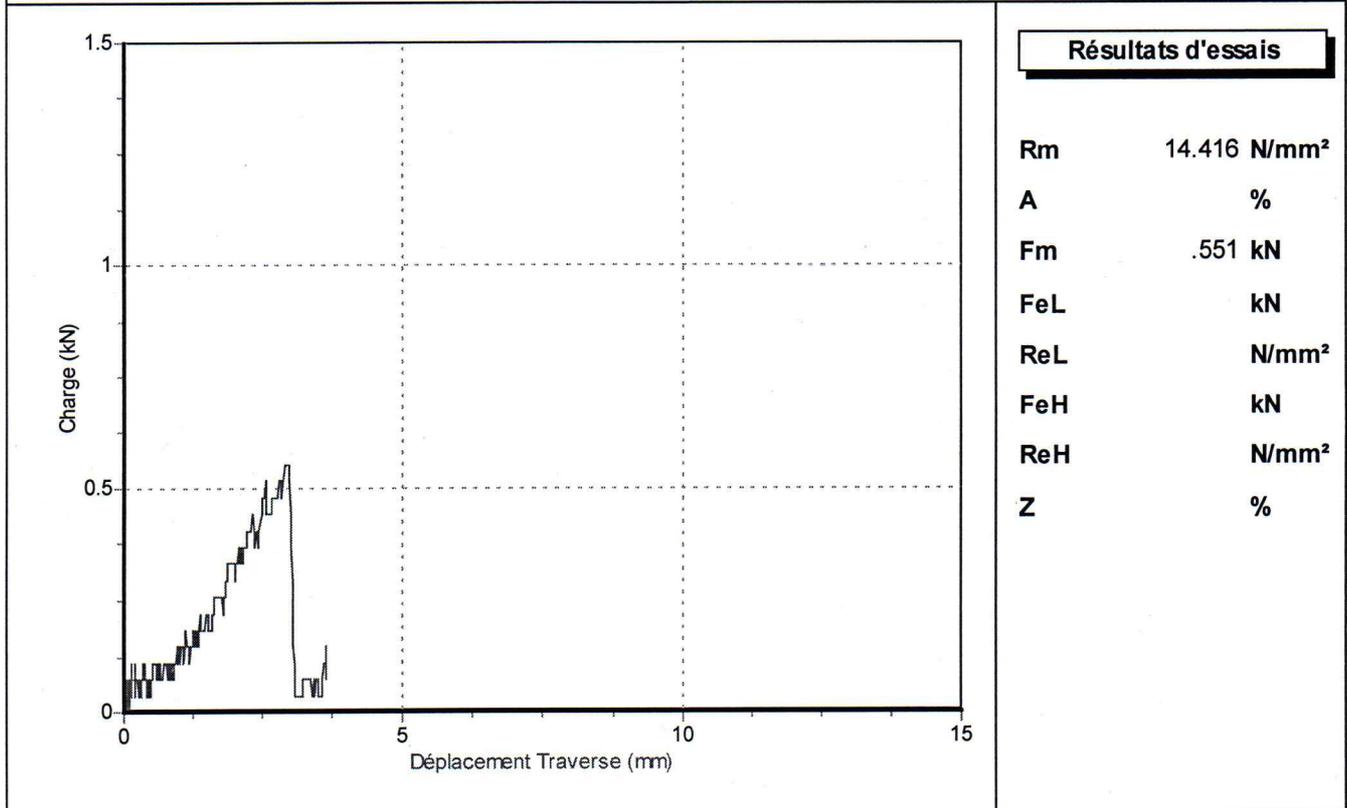
Opérateur

Responsable

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du		Provetta N.	du	
Lotto di Consegna					
Natura del Materiale					
Massa Lineica			Temperatura Amb.		
Provetta Lavorata			Posizione Prelievo		
Provetta Proporzionale			Direzione Prelievo		
Eprouvette	Carrée		Vitesse de l'exécution 1	6.00	N/mm ² /s
Largeur	7.80	mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00	mm/min
Epaisseur	4.90	mm	Lo	70.00	mm
			Le	.00	mm
Temps de précharge	.00	sec	Lc	.00	mm
So	38.220	mm ²	Lu	.00	mm

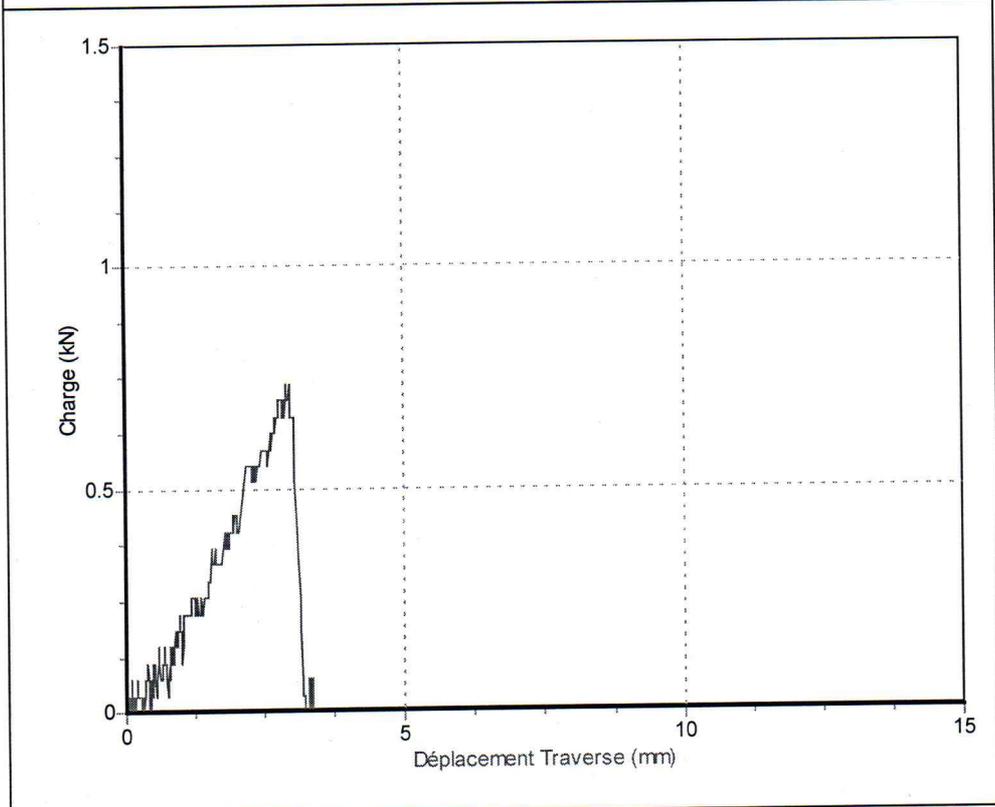
--	--	--	--	--	--



Opérateur	Responsable
_____	_____

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	8.00 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	5.00 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	40.000 mm ²	Lu	.00 mm

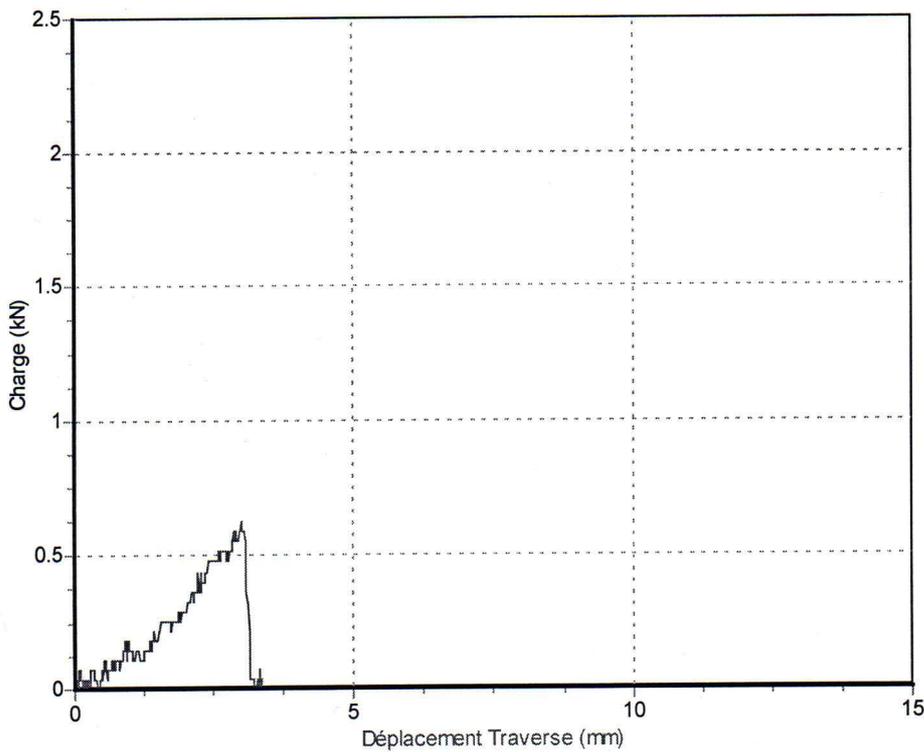


Résultats d'essais	
Rm	18.365 N/mm ²
A	%
Fm	.735 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur _____ Responsable _____

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	8.00 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	5.00 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	40.000 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

Rm	15.611 N/mm ²
A	%
Fm	.624 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

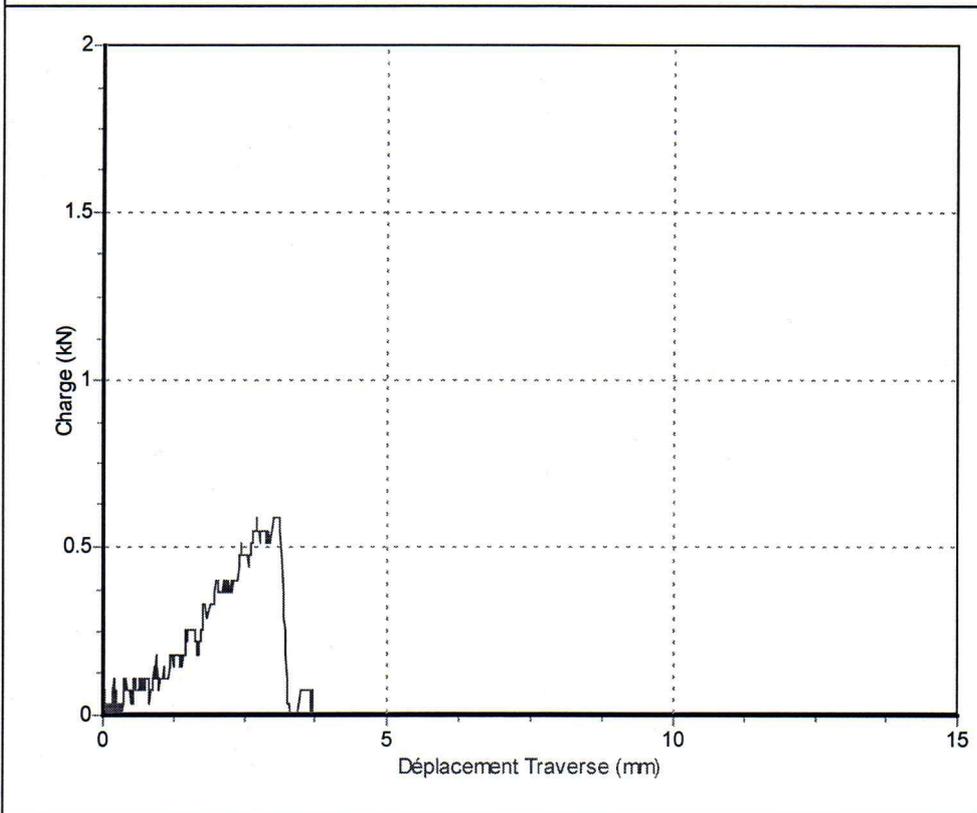
Opérateur

Responsable

essai 3 ep 0,2 70%

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.88 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	5.00 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	39.400 mm ²	Lu	.00 mm



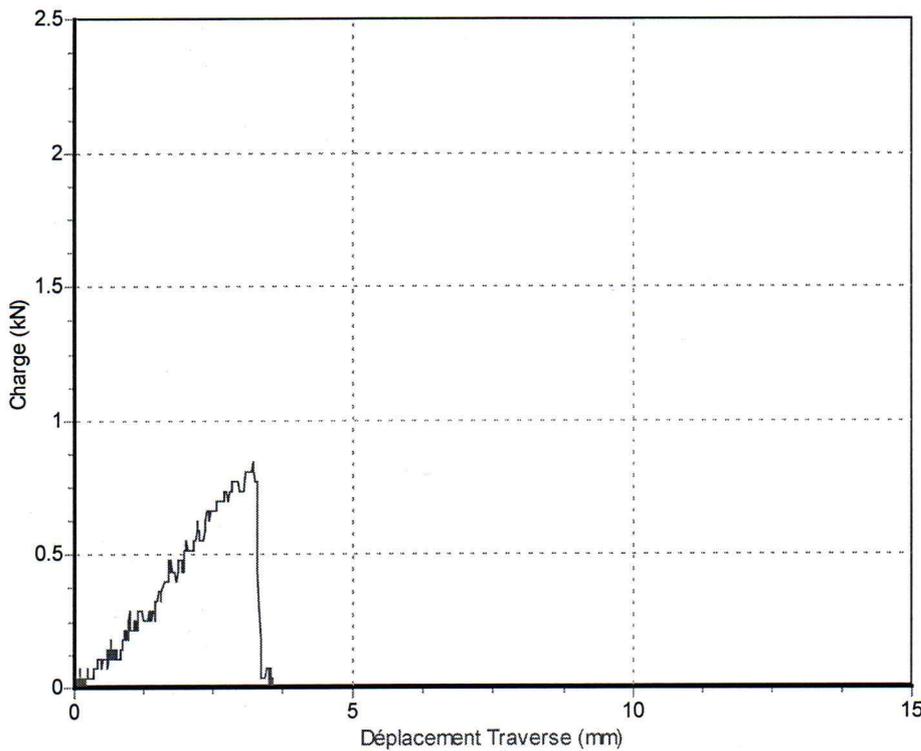
Résultats d'essais

Rm	14.916 N/mm ²
A	%
Fm	.588 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur _____ Responsable _____

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.54 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	5.10 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	38.454 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

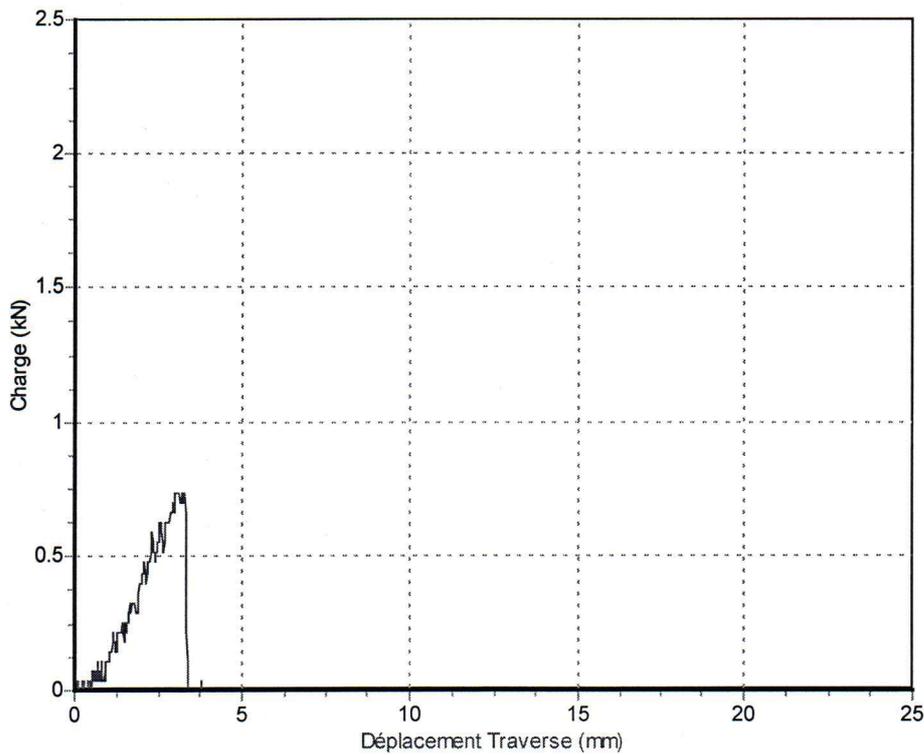
Rm	21.969 N/mm ²
A	%
Fm	.845 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur

Responsable

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette Carrée		Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.76 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	5.00 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	38.800 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

Rm	18.933 N/mm ²
A	%
Fm	.735 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

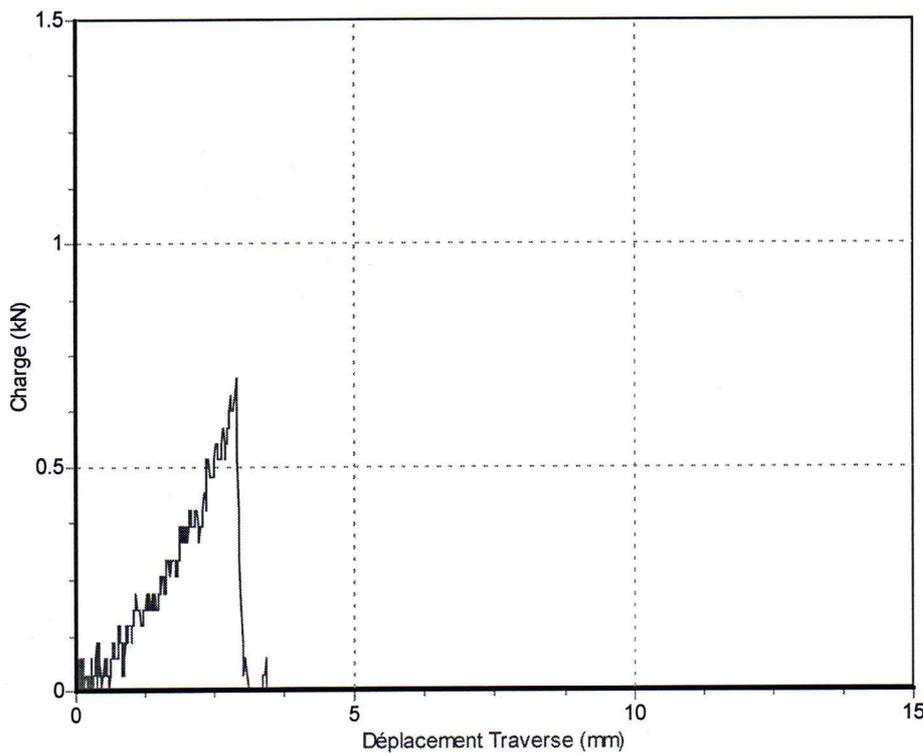
Opérateur

Responsable

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.68 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.70 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	36.096 mm ²	Lu	.00 mm

--	--	--	--



Résultats d'essais

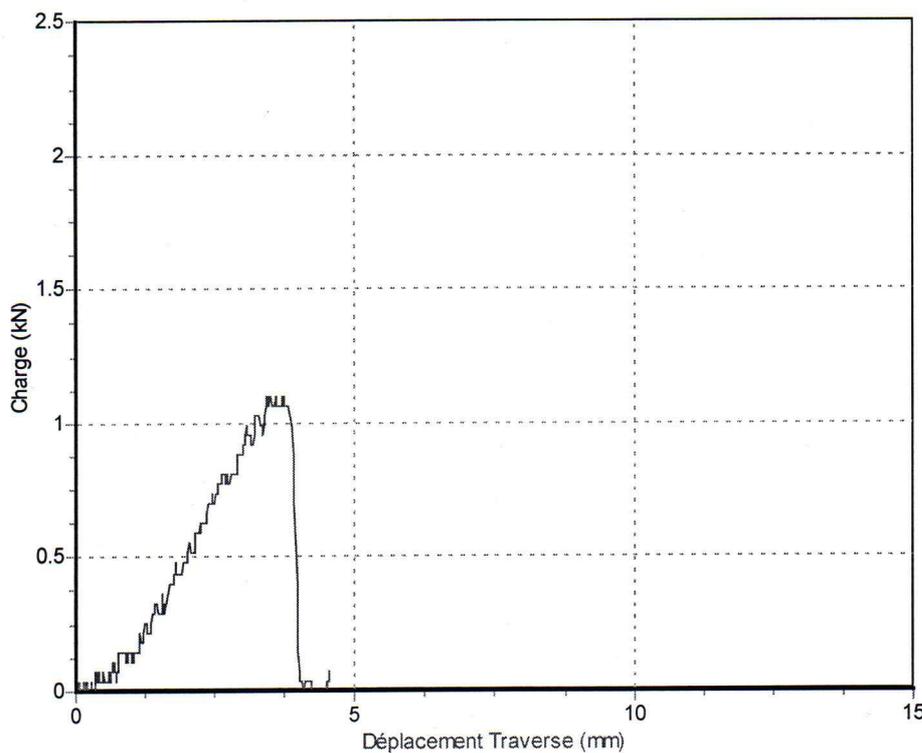
Rm	19.334 N/mm ²
A	%
Fm	.698 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur

Responsable

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.88 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	5.00 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	39.400 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

Rm	27.968 N/mm ²
A	%
Fm	1.102 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

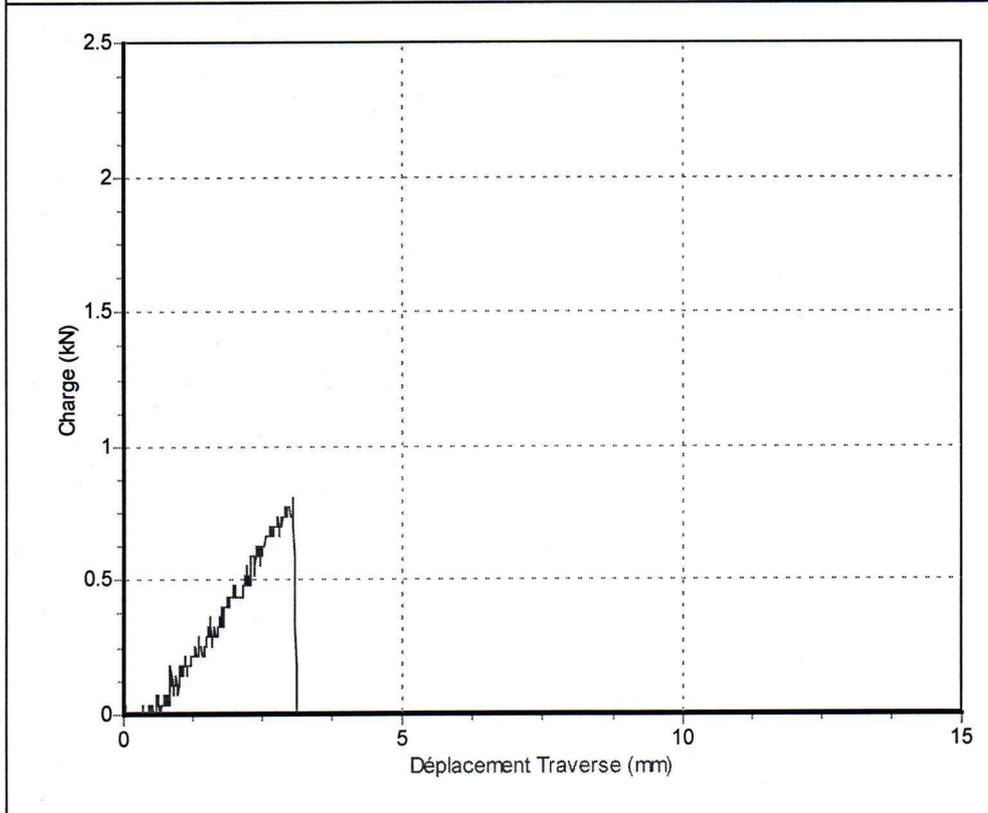
Opérateur

Responsable

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale		Temperatura Amb.	
Massa Lineica		Posizione Prelievo	
Provetta Lavorata		Direzione Prelievo	
Provetta Proporzionale			
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	2.00 N/mm ² /s
Largeur	7.88 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	5.00 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	39.400 mm ²	Lu	.00 mm

--	--	--	--



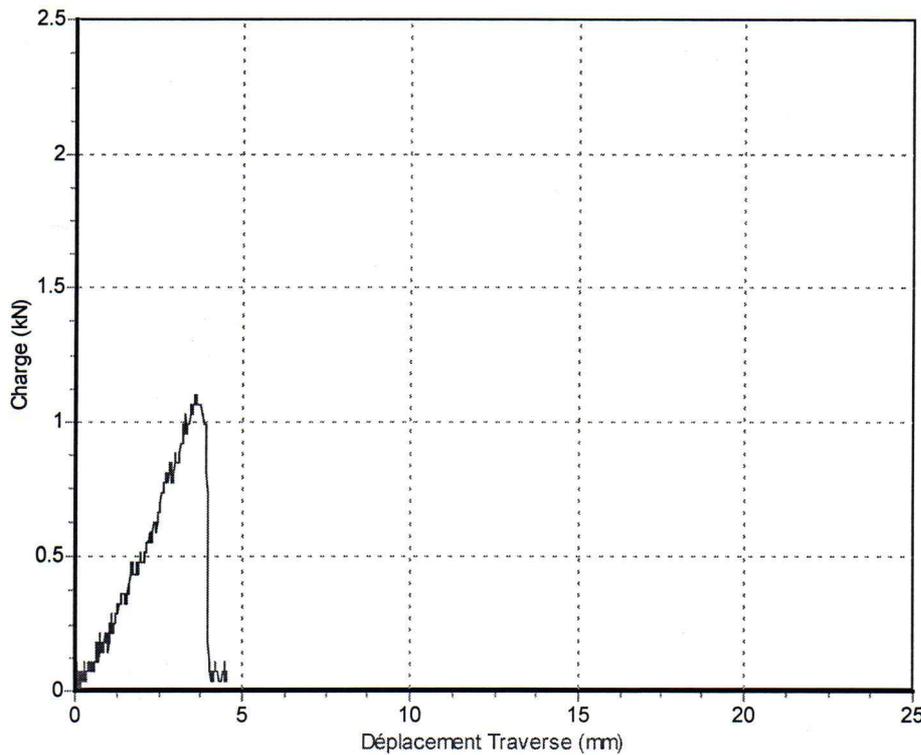
Résultats d'essais	
Rm	20.510 N/mm ²
A	%
Fm	.808 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur	Responsable
_____	_____

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.88 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	5.00 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	39.400 mm ²	Lu	.00 mm

--	--	--	--



Résultats d'essais

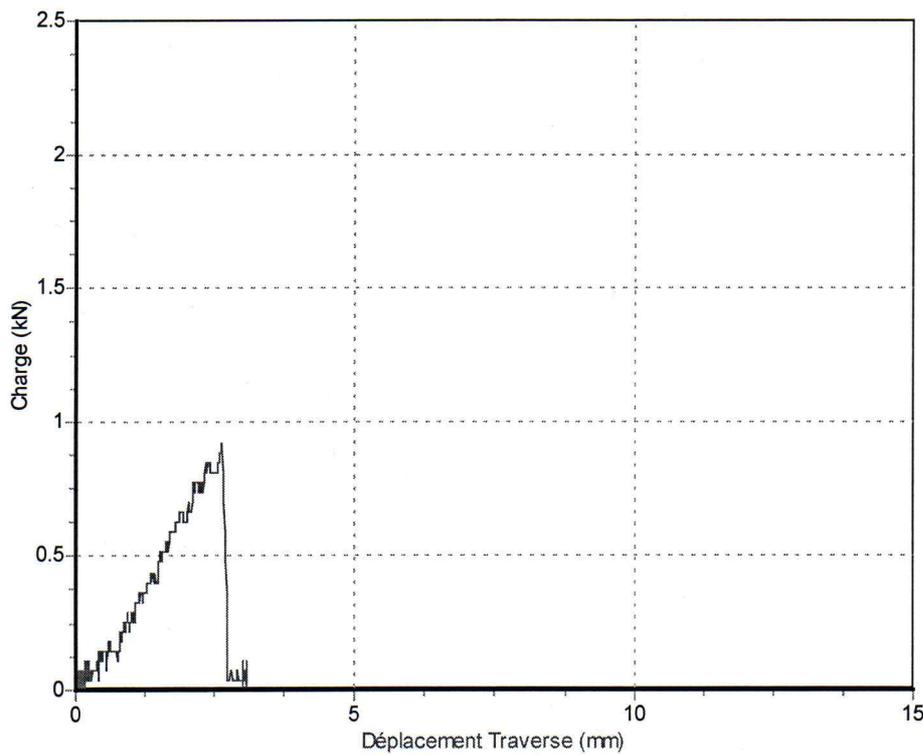
Rm	27.968 N/mm ²
A	%
Fm	1.102 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur _____ Responsable _____

essai 1 ep0,3 40%

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.50 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.70 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	129.00 sec	Lc	.00 mm
So	35.250 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

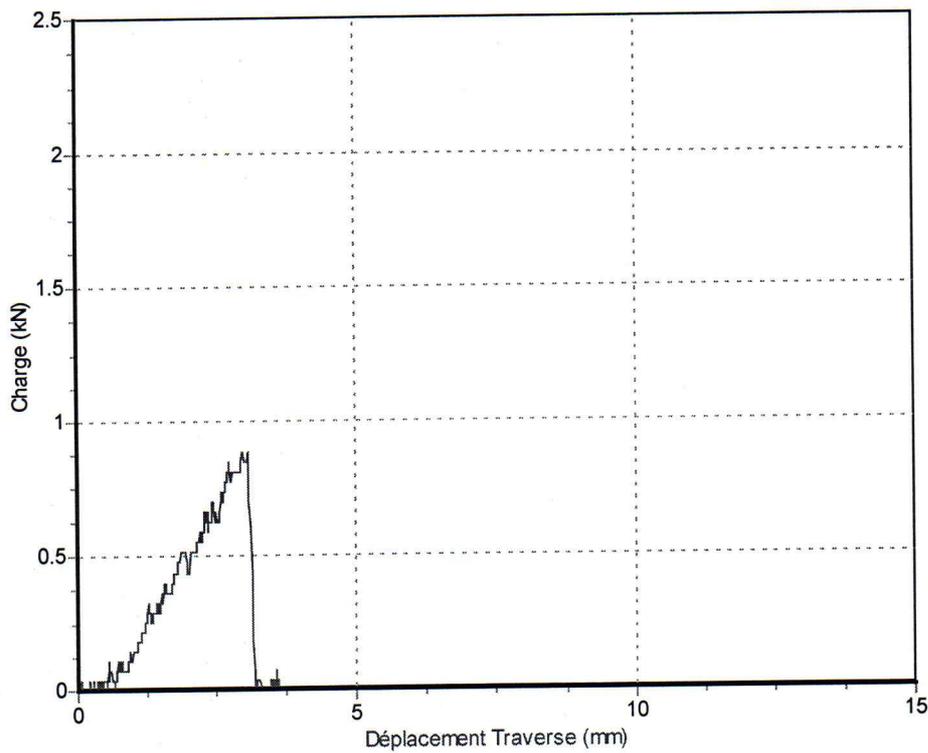
Rm	26.050 N/mm ²
A	%
Fm	.918 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur

Responsable

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	8.00 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	5.00 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	40.000 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

Rm	22.039 N/mm ²
A	%
Fm	.882 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

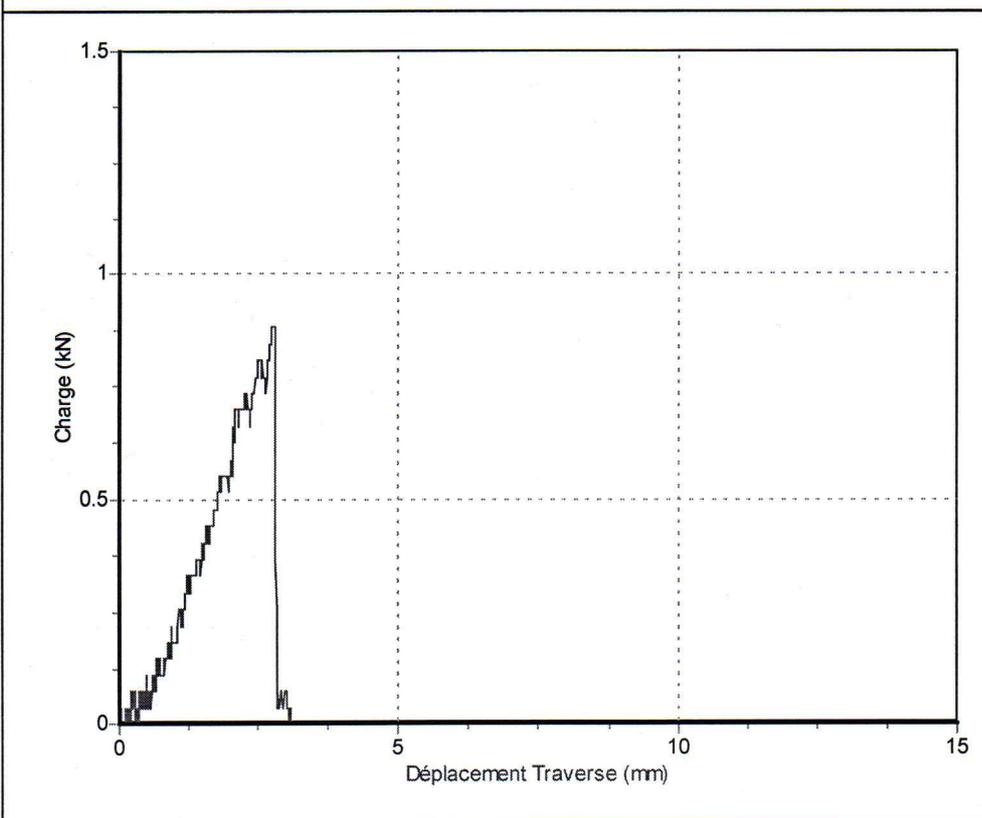
Opérateur

Responsable

Essai 3 ep 0,3 40%

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.50 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.60 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	34.500 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

Rm	25.552 N/mm ²
A	%
Fm	.882 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

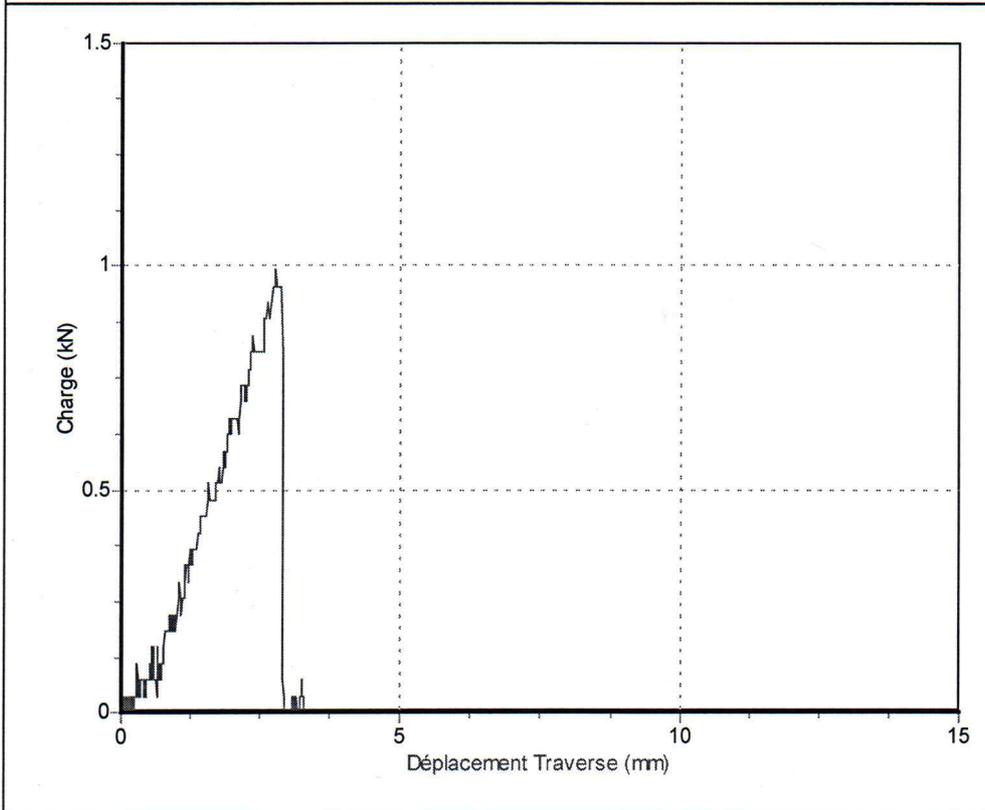
Opérateur _____ Responsable _____

epssau 1 ep 0.1360%

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.50 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	5.00 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	37.500 mm ²	Lu	.00 mm

--	--	--	--



Résultats d'essais

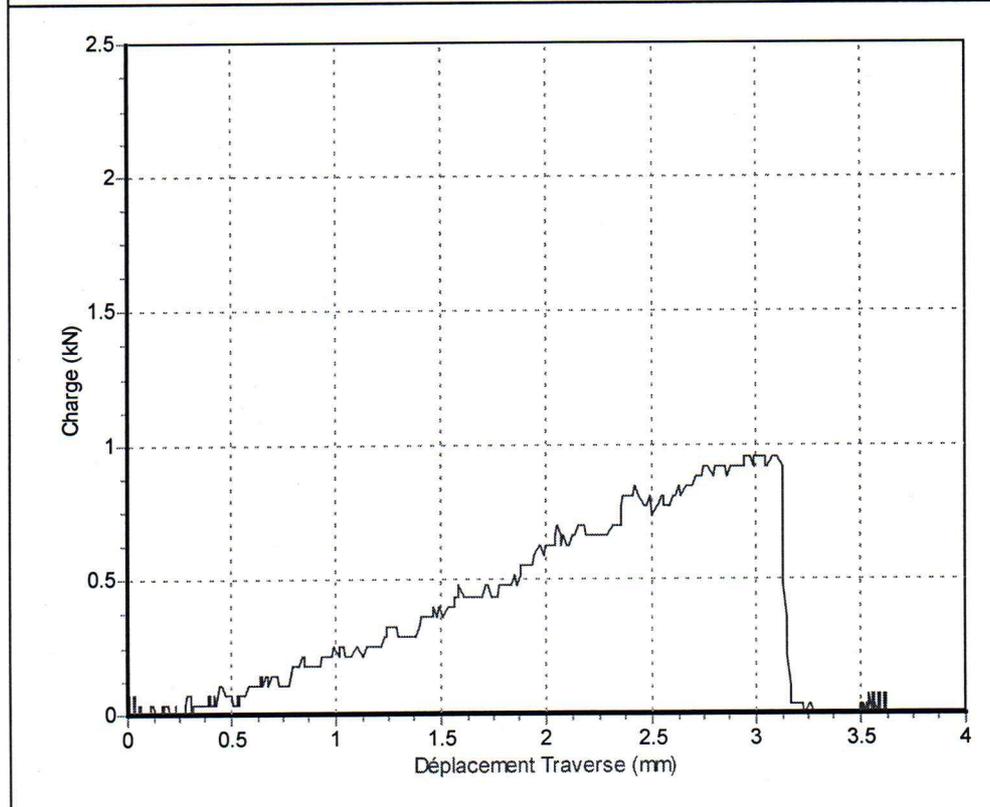
Rm	26.446 N/mm ²
A	%
Fm	.992 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur	Responsable
_____	_____

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale		Temperatura Amb.	
Massa Lineica		Posizione Prelievo	
Provetta Lavorata		Direzione Prelievo	
Provetta Proporzionale			
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.40 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	5.30 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	39.220 mm ²	Lu	.00 mm

--	--	--	--



Résultats d'essais

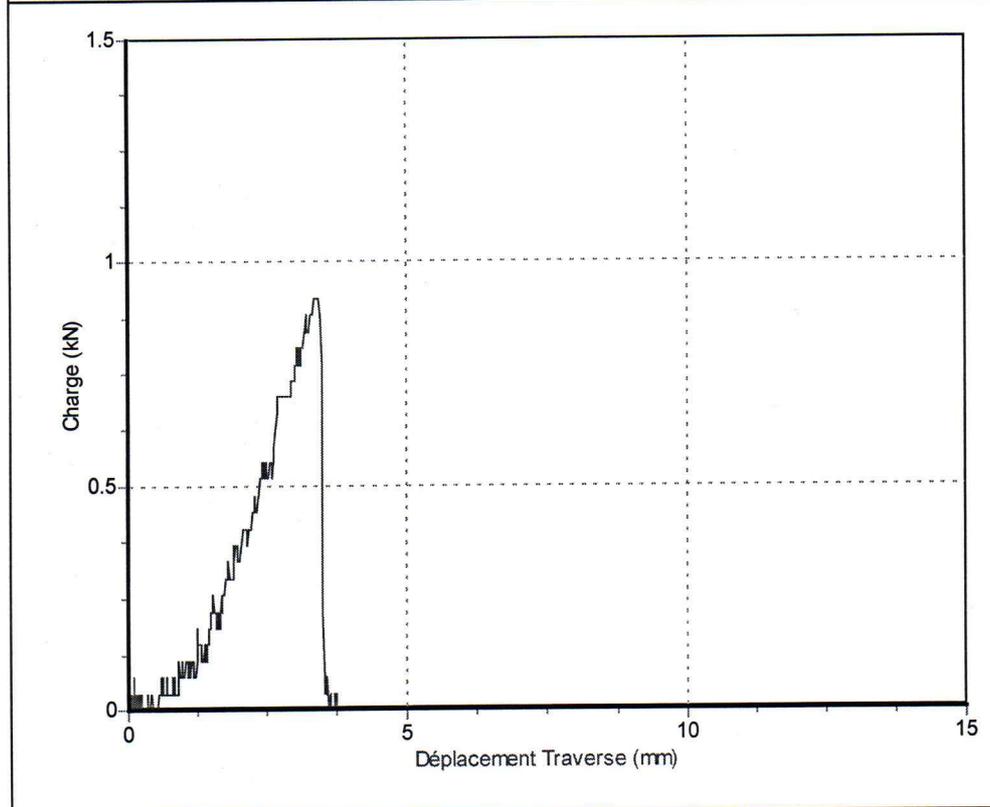
Rm	24.350 N/mm ²
A	%
Fm	.955 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur	Responsable
_____	_____

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.40 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.60 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	34.040 mm ²	Lu	.00 mm

--	--	--	--



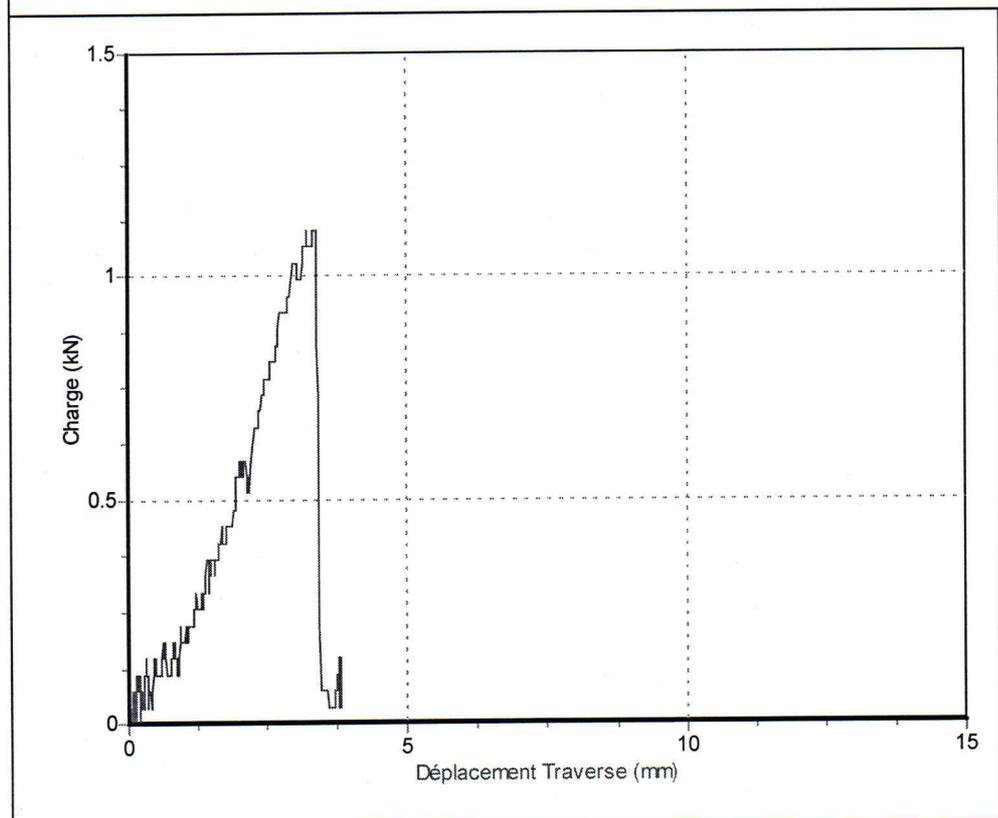
Résultats d'essais	
Rm	26.976 N/mm ²
A	%
Fm	.918 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur	Responsable
_____	_____

essai 1 ep 0,3 20%

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.46 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.60 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	34.316 mm ²	Lu	.00 mm



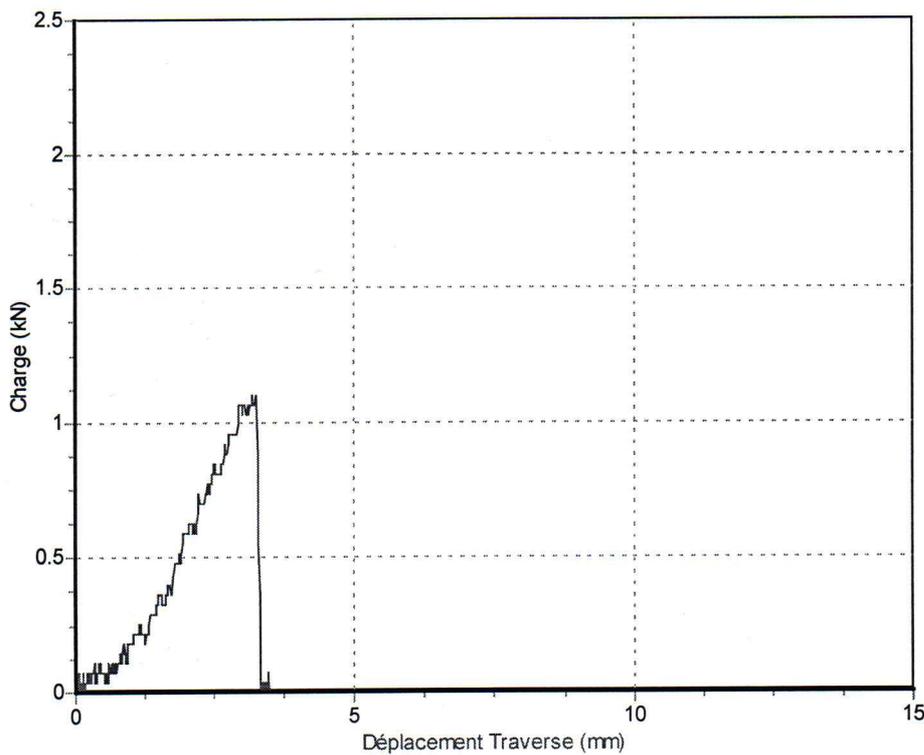
Résultats d'essais

Rm	32.111 N/mm ²
A	%
Fm	1.102 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur _____ Responsable _____

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.30 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	5.00 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	36.500 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

Rm	30.190 N/mm ²
A	%
Fm	1.102 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur

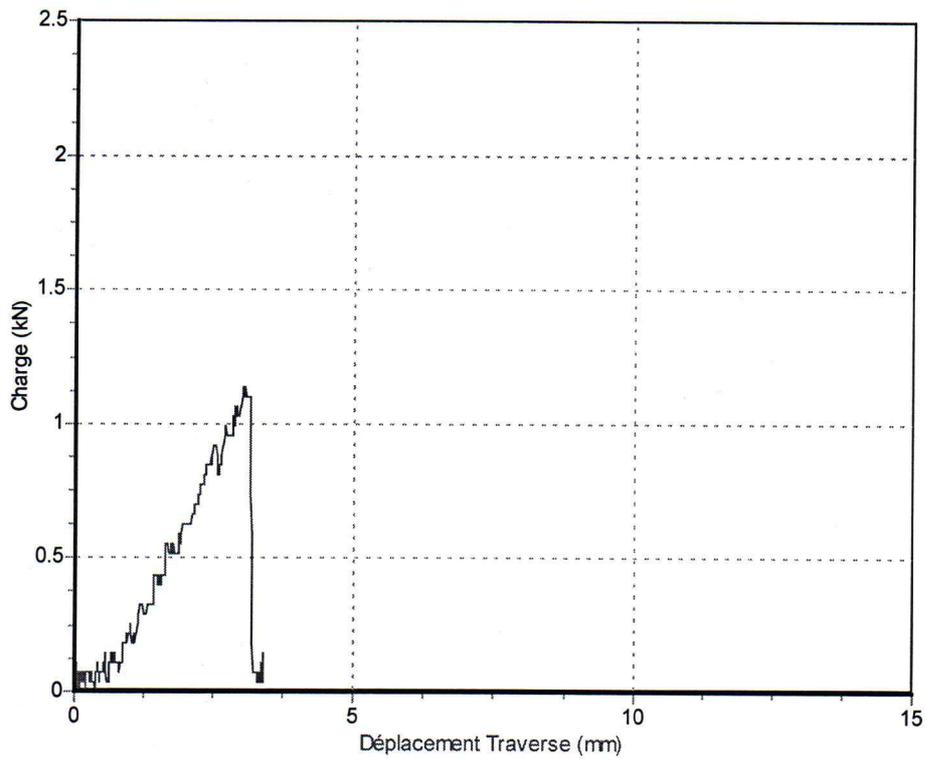
Responsable

essai 3 epo, 3 80%

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.30 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.90 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	35.770 mm ²	Lu	.00 mm

--	--	--	--



Résultats d'essais

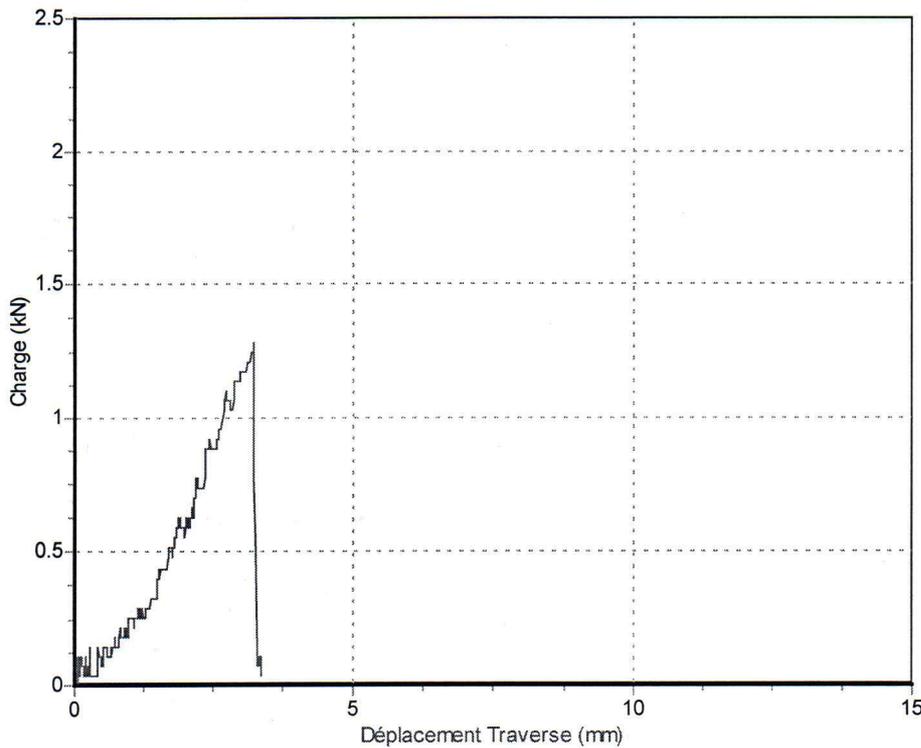
Rm	31.833 N/mm ²
A	%
Fm	1.139 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur _____ Responsable _____

essai 1 ep 0,3 100%

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.50 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.60 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	34.500 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

Rm	37.263 N/mm ²
A	%
Fm	1.286 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur

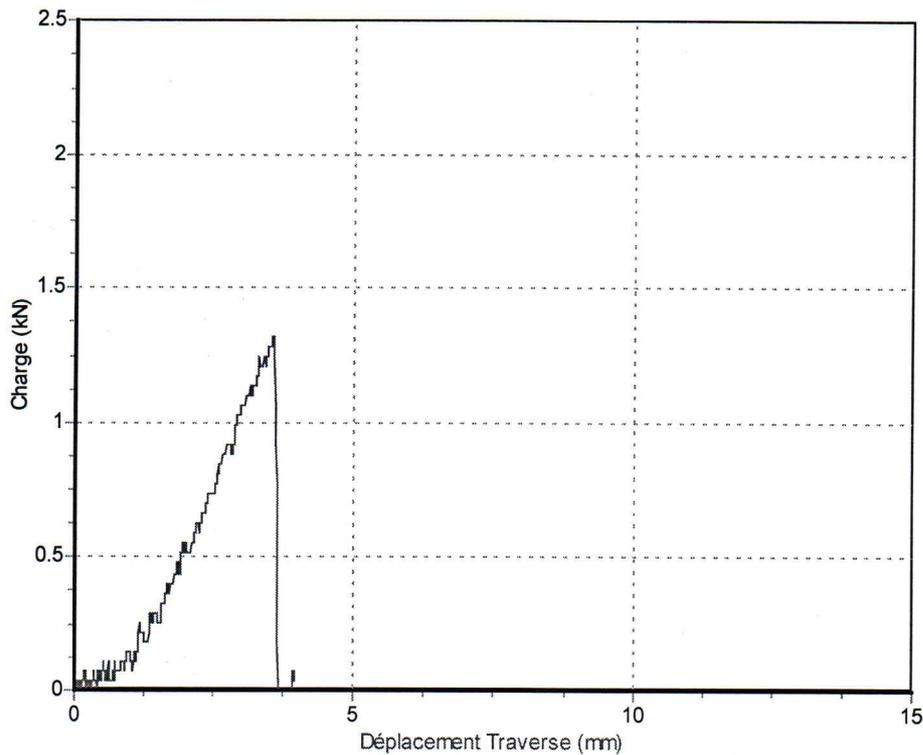
Responsable

essai 2 ep 0,3 100%

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du		Provetta N.	du	
Lotto di Consegna					
Natura del Materiale					
Massa Lineica			Temperatura Amb.		
Provetta Lavorata			Posizione Prelievo		
Provetta Proporzionale			Direzione Prelievo		
Eprouvette	Carrée		Vitesse de l'exécution 1	6.00	N/mm ² /s
Largeur	7.50	mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00	mm/min
Epaisseur	4.50	mm	Lo	70.00	mm
			Le	.00	mm
Temps de précharge	129.00	sec	Lc	.00	mm
So	33.750	mm ²	Lu	.00	mm

--	--	--	--	--	--



Résultats d'essais

Rm	39.180 N/mm ²
A	%
Fm	1.322 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur

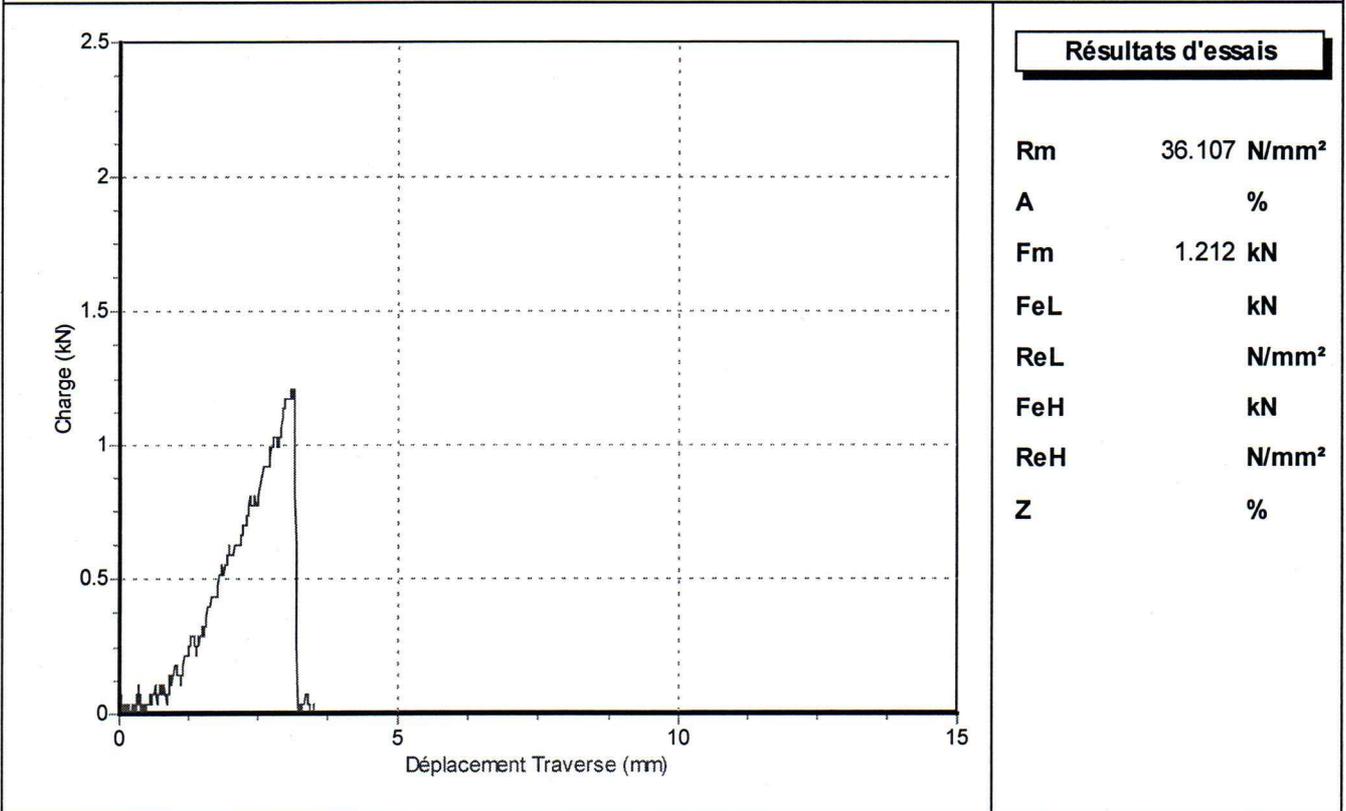
Responsable

25502 3 ep 0,3 100%

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette Carrée		Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.46 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.50 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	33.570 mm ²	Lu	.00 mm

--	--	--	--



Résultats d'essais

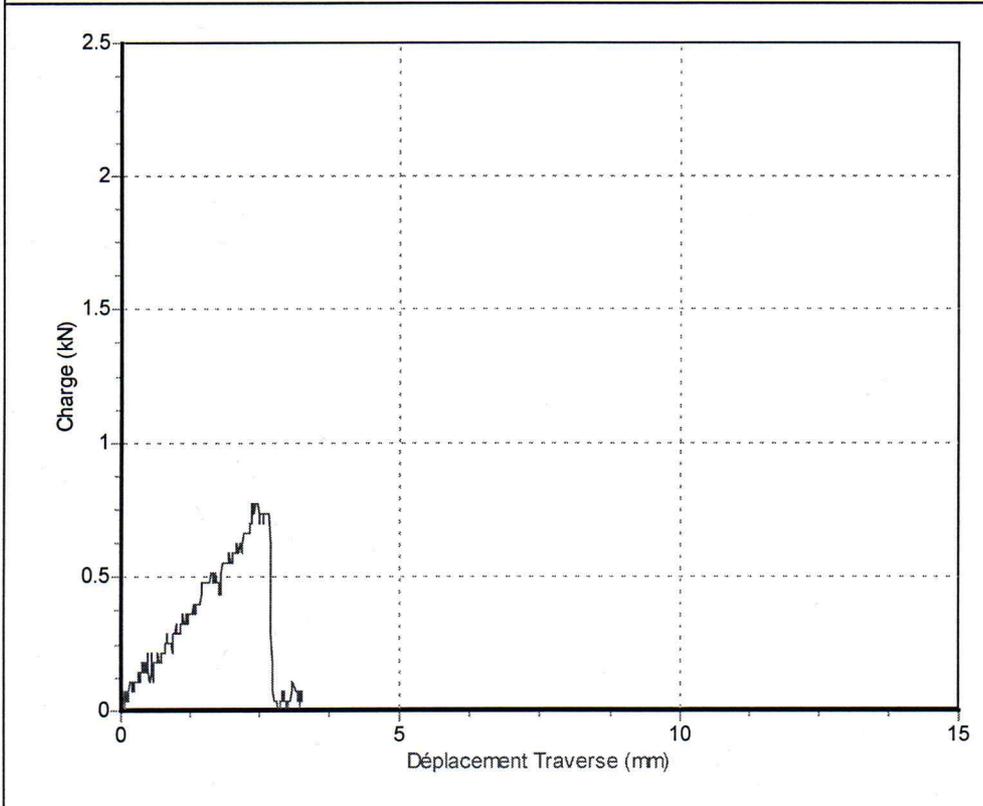
Rm	36.107 N/mm ²
A	%
Fm	1.212 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur _____ Responsable _____

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.80 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	5.00 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	39.000 mm ²	Lu	.00 mm

--	--	--	--



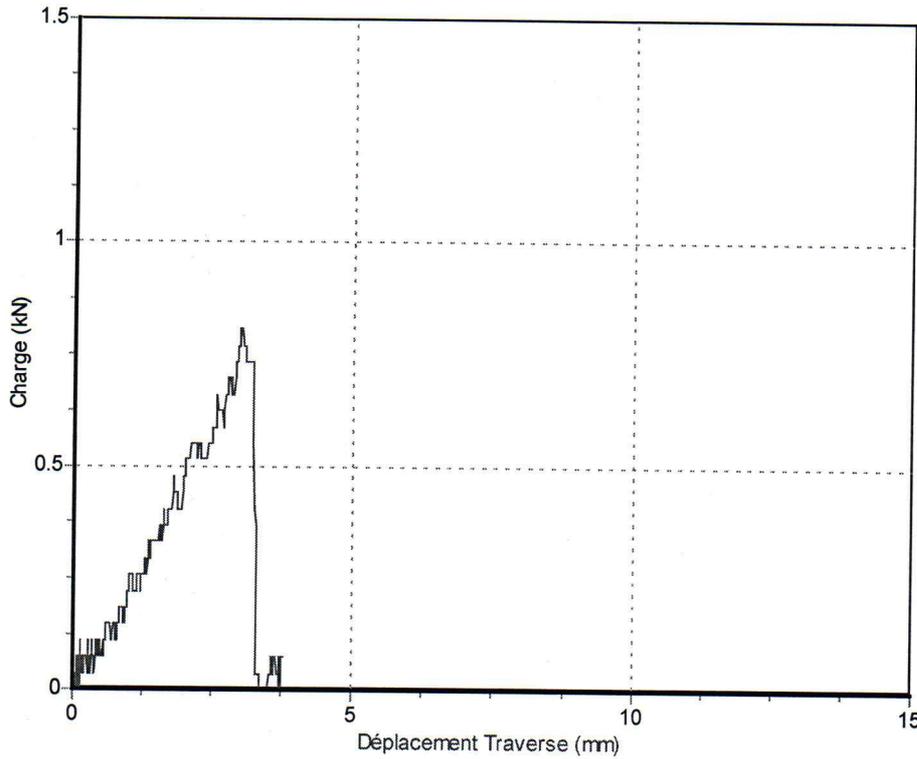
Résultats d'essais

Rm	19.778 N/mm ²
A	%
Fm	.771 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur	Responsable
_____	_____

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.80 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	5.00 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	39.000 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

Rm	20.720 N/mm ²
A	%
Fm	.808 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur

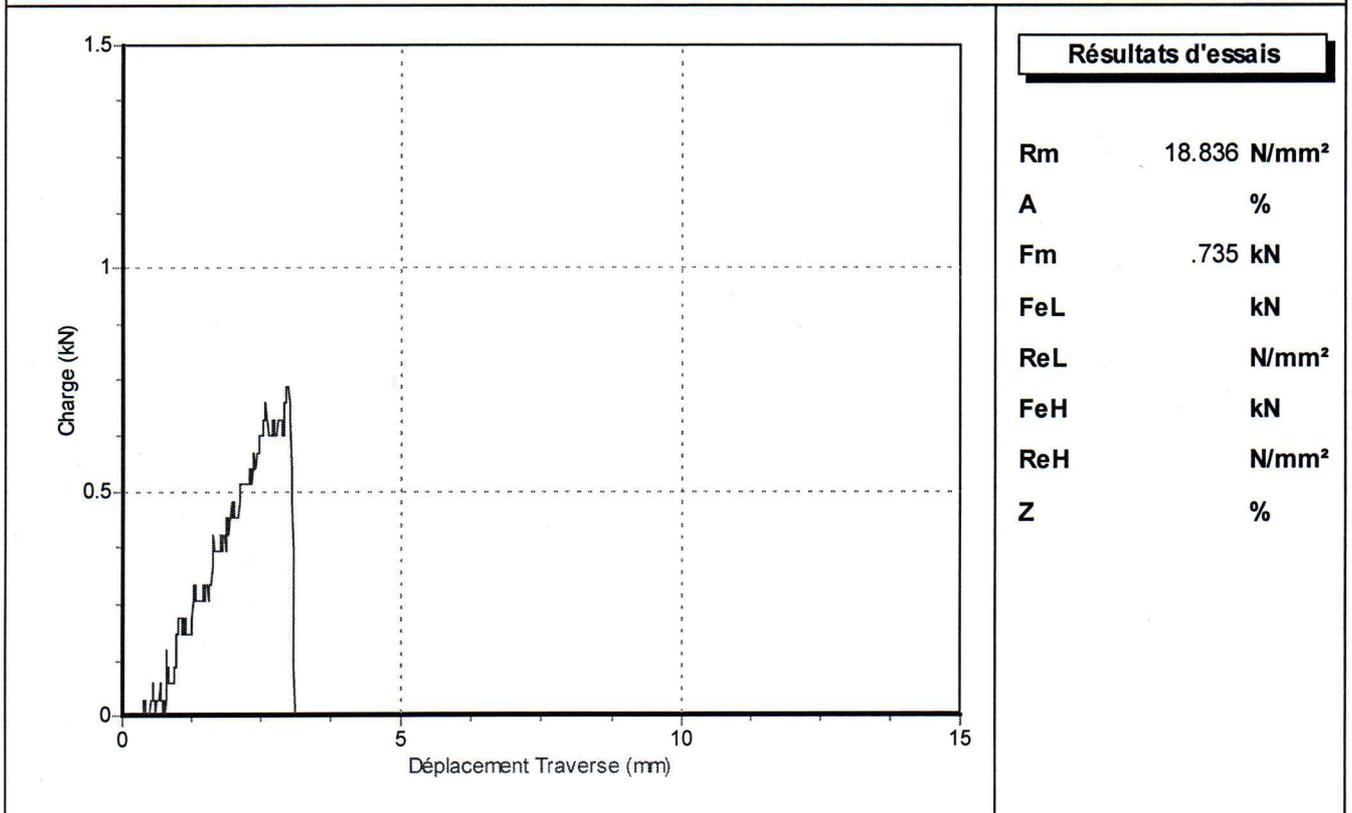
Responsable

essai 3 ep 0,3 20%, lig mes

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du		Provetta N.	du	
Lotto di Consegna					
Natura del Materiale					
Massa Lineica			Temperatura Amb.		
Provetta Lavorata			Posizione Prelievo		
Provetta Proporzionale			Direzione Prelievo		
Eprouvette	Carrée		Vitesse de l'exécution 1	6.00	N/mm ² /s
Largeur	7.80	mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00	mm/min
Epaisseur	5.00	mm	Lo	70.00	mm
			Le	.00	mm
Temps de précharge	.00	sec	Lc	.00	mm
So	39.000	mm ²	Lu	.00	mm

--	--	--	--	--	--

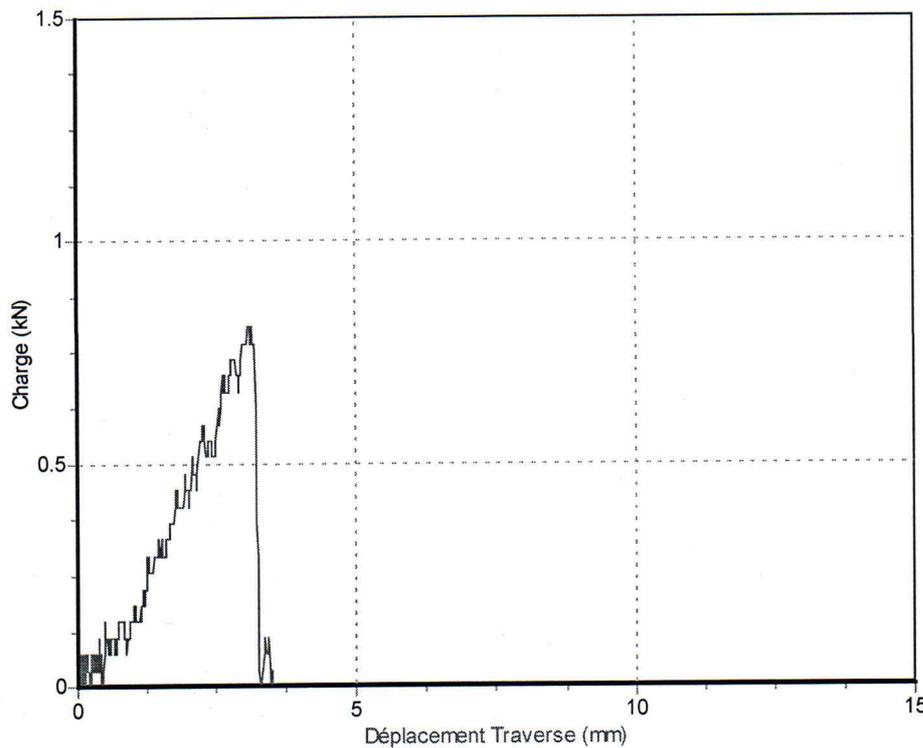


Opérateur	Responsable
_____	_____

essai 1 epo,3 20% triangle

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette Carrée		Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.66 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.80 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	36.768 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

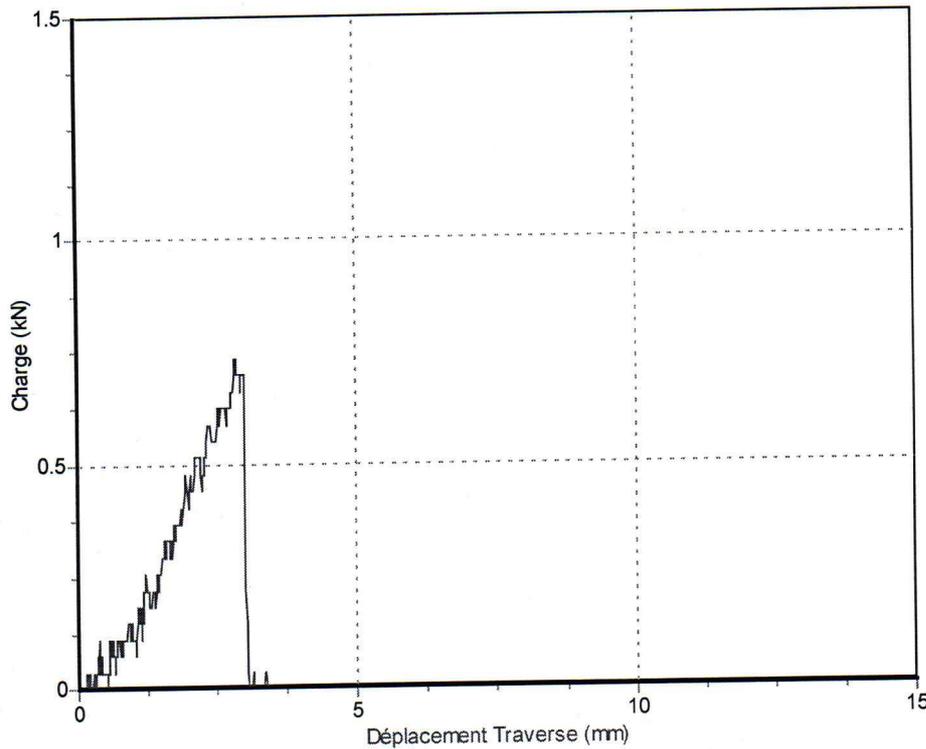
Rm	21.978 N/mm ²
A	%
Fm	.808 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur

Responsable

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.60 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.70 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	35.720 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais	
Rm	20.566 N/mm ²
A	%
Fm	.735 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur

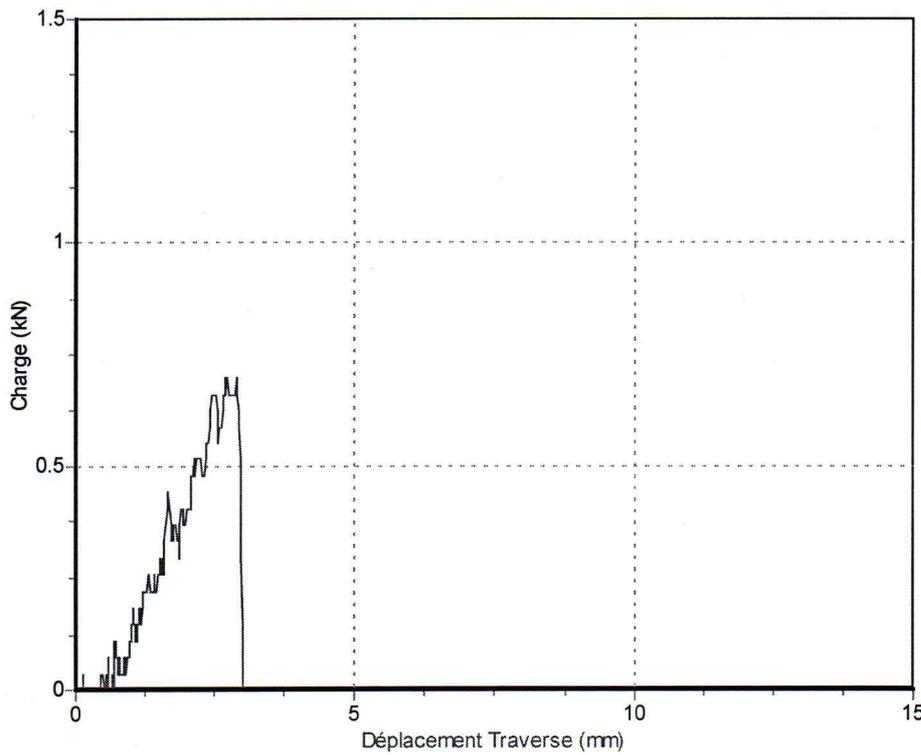
Responsable

essai 3 ep 0,3 20% triangle

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.66 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.70 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	36.002 mm ²	Lu	.00 mm

--	--	--	--



Résultats d'essais

Rm	19.385 N/mm ²
A	%
Fm	.698 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

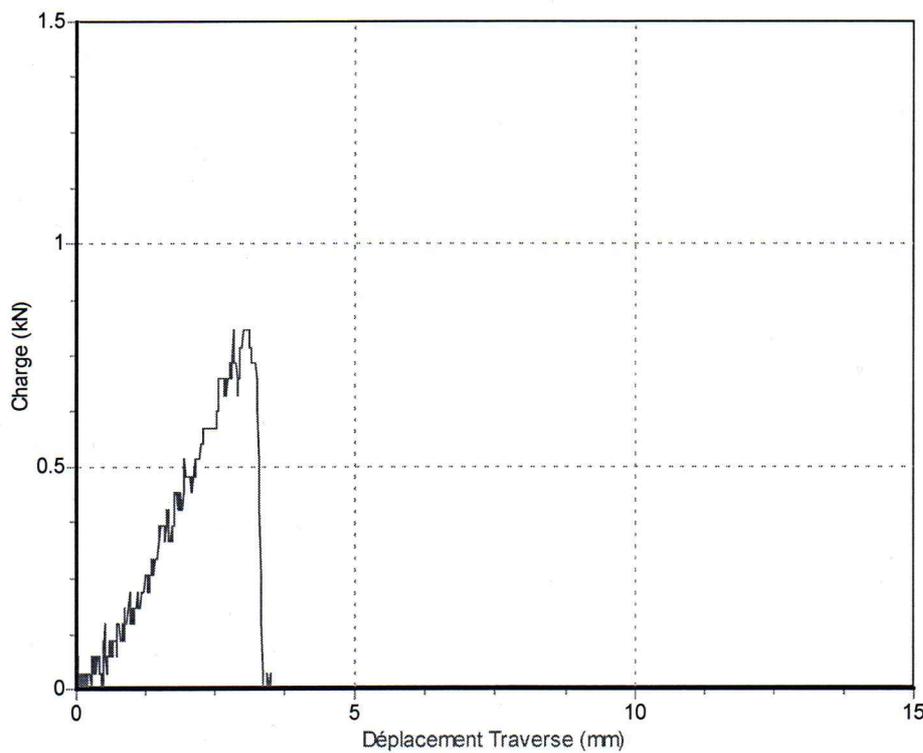
Opérateur	Responsable
_____	_____

essai 1 ep 0,3 20% gyroide.

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.50 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.60 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	34.500 mm ²	Lu	.00 mm

--	--	--	--



Résultats d'essais

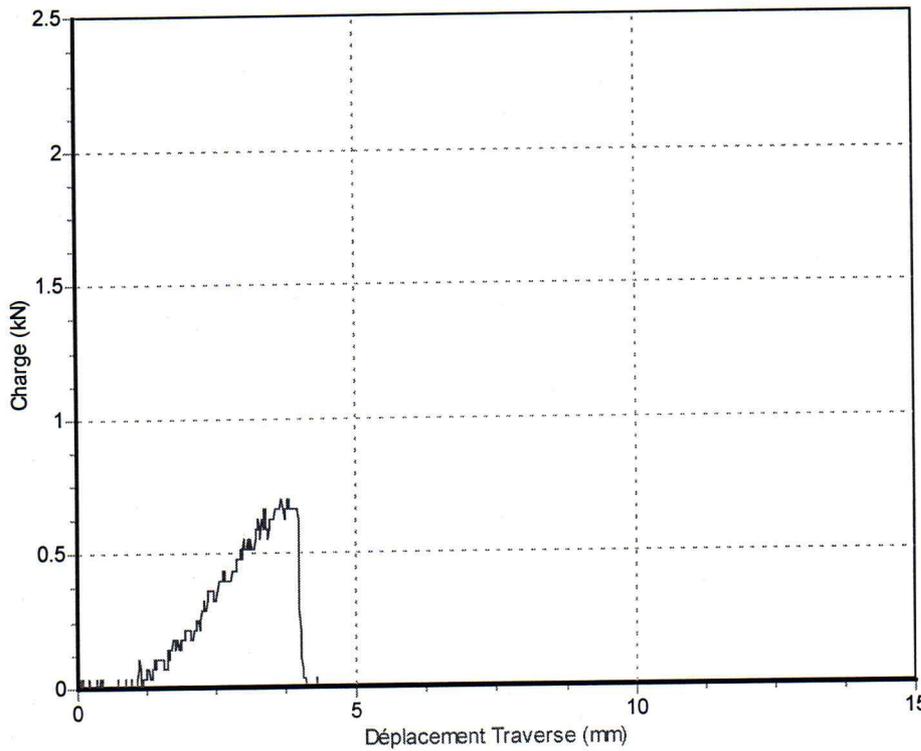
Rm	23.423 N/mm ²
A	%
Fm	.808 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur	Responsable
_____	_____

essai 2 epo,3 20% gyroide

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.50 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.80 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	36.000 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

Rm	19.386 N/mm ²
A	%
Fm	.698 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

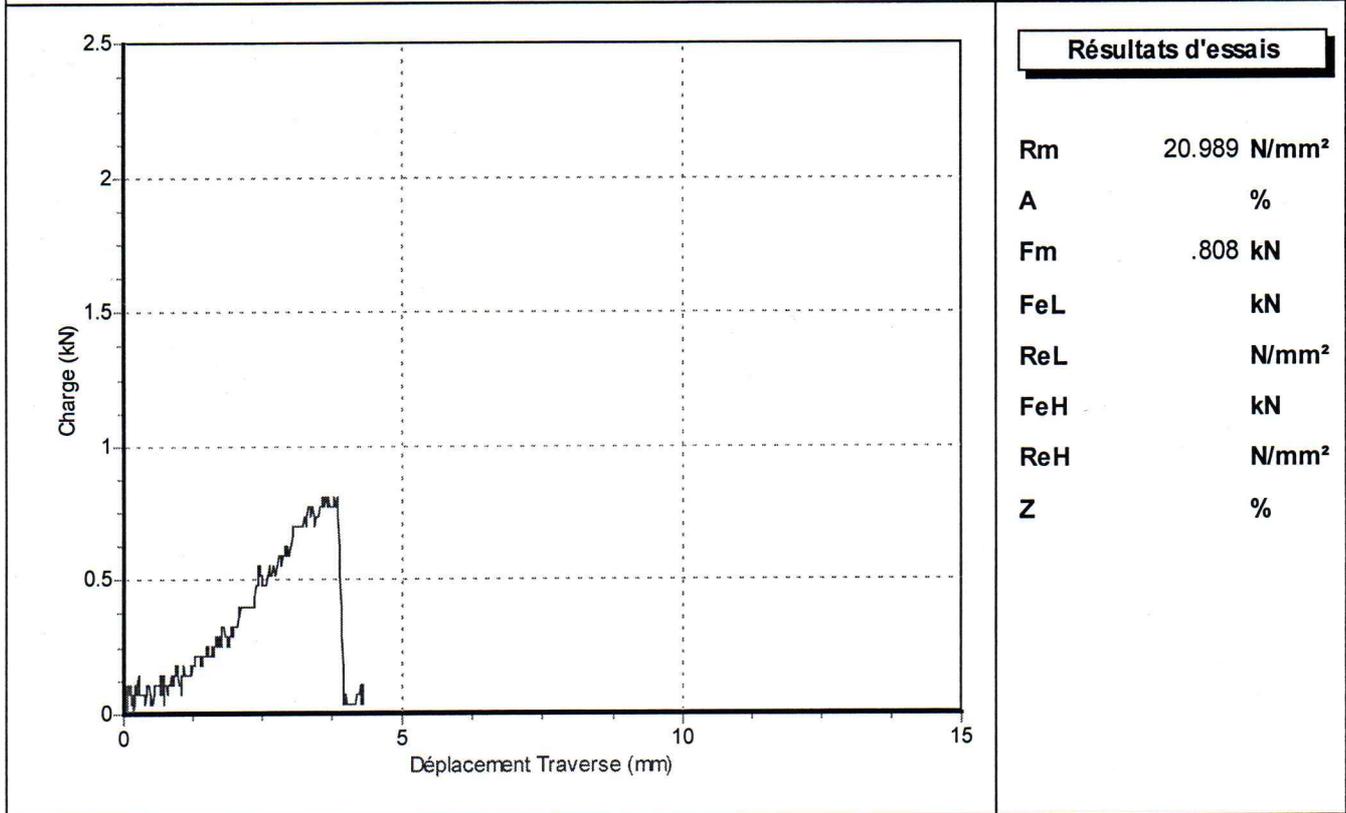
Opérateur

Responsable

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du		Provetta N.	du	
Lotto di Consegna					
Natura del Materiale					
Massa Lineica			Temperatura Amb.		
Provetta Lavorata			Posizione Prelievo		
Provetta Proporzionale			Direzione Prelievo		
Eprouvette	Carrée		Vitesse de l'exécution 1	6.00	N/mm ² /s
Largeur	7.70	mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00	mm/min
Epaisseur	5.00	mm	Lo	70.00	mm
			Le	.00	mm
Temps de précharge	.00	sec	Lc	.00	mm
So	38.500	mm ²	Lu	.00	mm

--	--	--	--	--	--

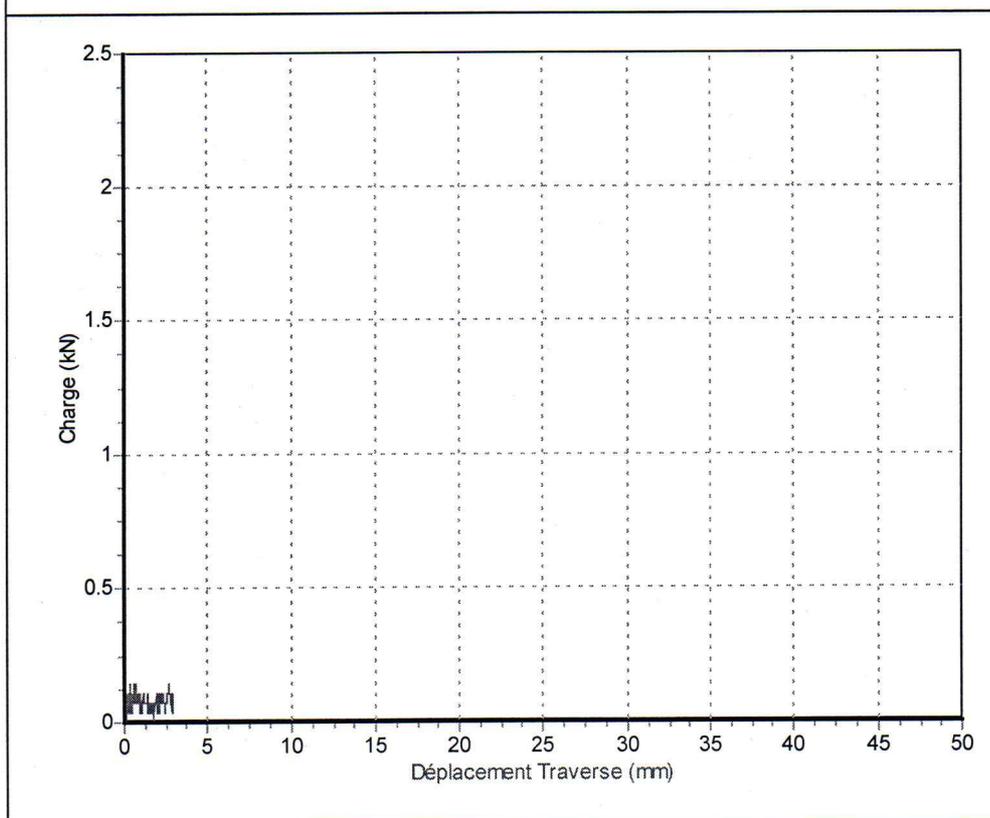


Opérateur	Responsable
_____	_____

essai 1 ep 0,3 20%. Verticale

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprovette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.80 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.60 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	35.880 mm ²	Lu	.00 mm

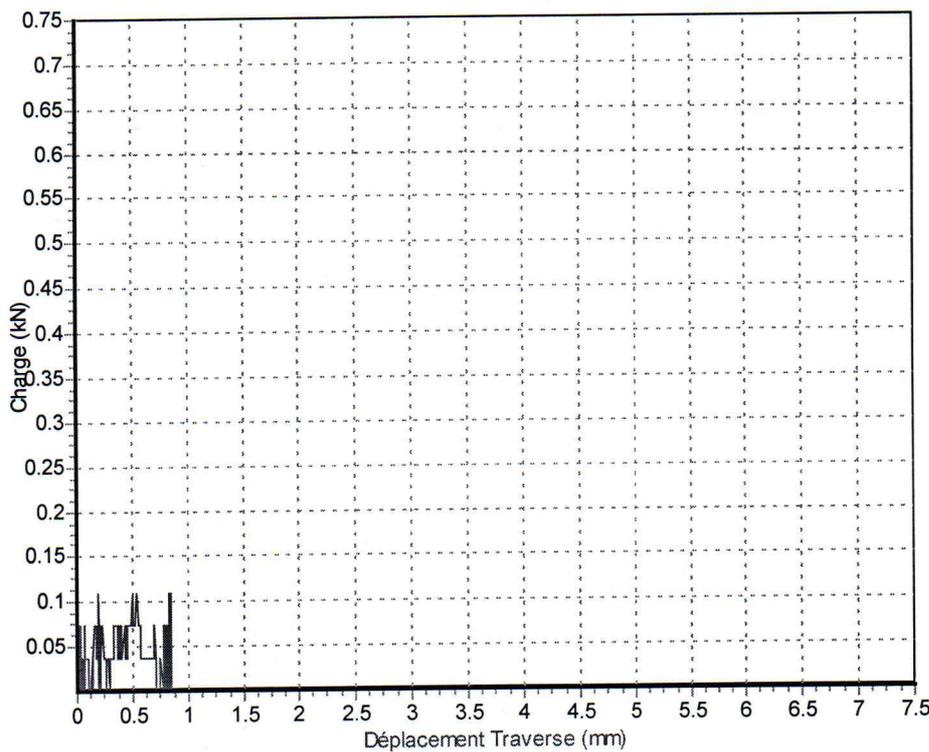


Résultats d'essais	
Rm	4.095 N/mm ²
A	%
Fm	.147 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur	Responsable
_____	_____

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale		Temperatura Amb.	
Massa Lineica		Posizione Prelievo	
Provetta Lavorata		Direzione Prelievo	
Provetta Proporzionale			
Eprouvette Carrée		Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.70 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.60 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	35.420 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

Rm	3.111 N/mm ²
A	%
Fm	.110 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

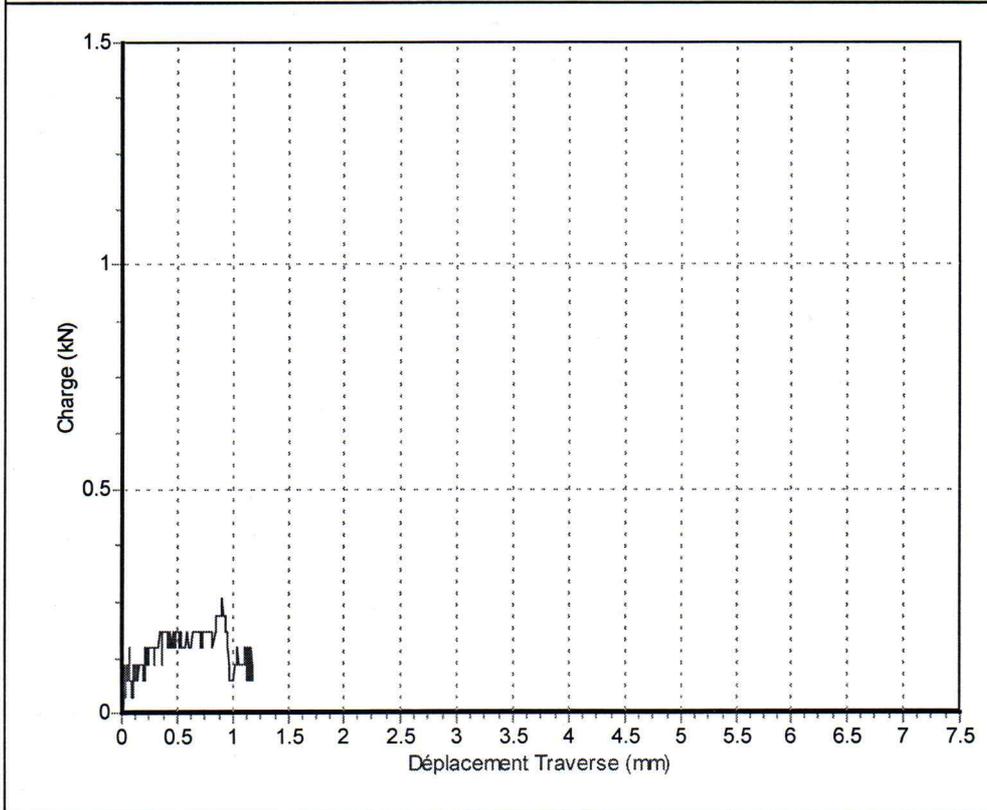
Opérateur

Responsable

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du		Provetta N.	du	
Lotto di Consegna					
Natura del Materiale					
Massa Lineica			Temperatura Amb.		
Provetta Lavorata			Posizione Prelievo		
Provetta Proporzionale			Direzione Prelievo		
Eprouvette	Carrée		Vitesse de l'exécution 1	6.00	N/mm ² /s
Largeur	7.60	mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00	mm/min
Epaisseur	4.80	mm	Lo	70.00	mm
			Le	.00	mm
Temps de précharge	.00	sec	Lc	.00	mm
So	36.480	mm ²	Lu	.00	mm

--	--	--	--	--	--



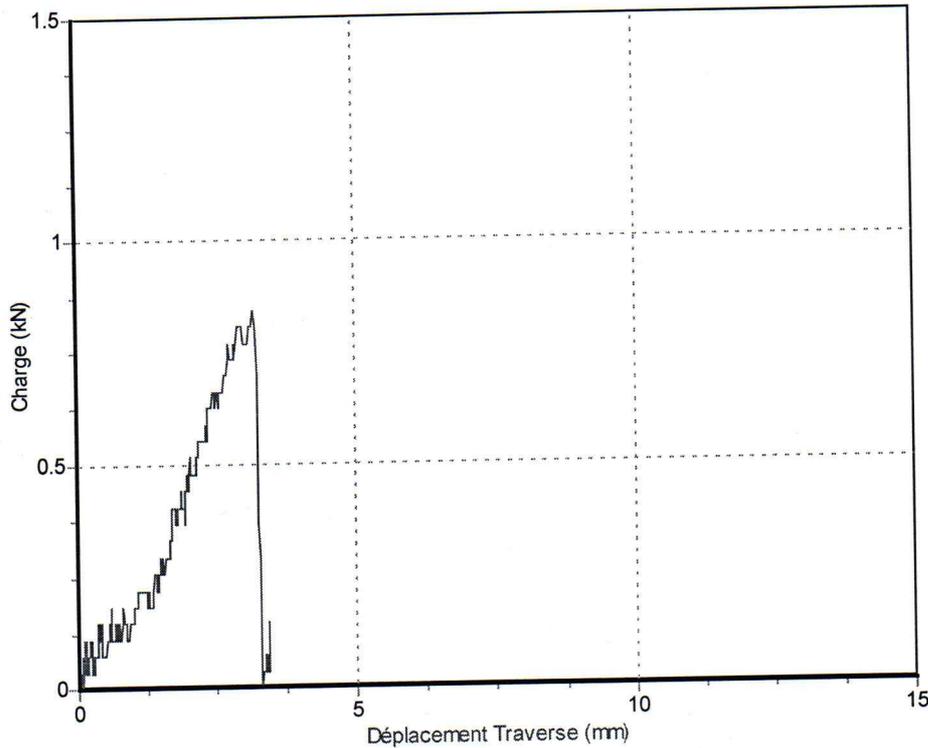
Résultats d'essais	
Rm	7.048 N/mm ²
A	%
Fm	.257 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur	Responsable
_____	_____

essai ep0,3 20% horizontale

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale		Temperatura Amb.	
Massa Lineica		Posizione Prelievo	
Provetta Lavorata		Direzione Prelievo	
Provetta Proporzionale			
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	8.00 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.80 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	38.400 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

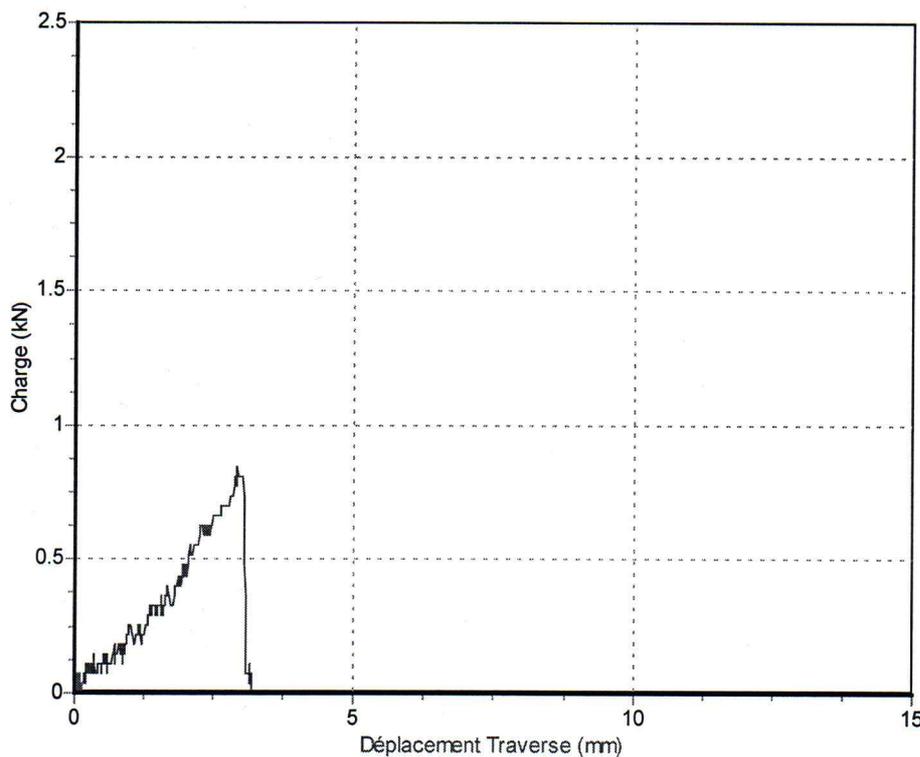
Rm	22.000 N/mm ²
A	%
Fm	.845 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur

Responsable

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette Carrée		Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	7.90 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.50 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	35.550 mm ²	Lu	.00 mm



Résultats d'essais

Rm	23.764 N/mm ²
A	%
Fm	.845 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur

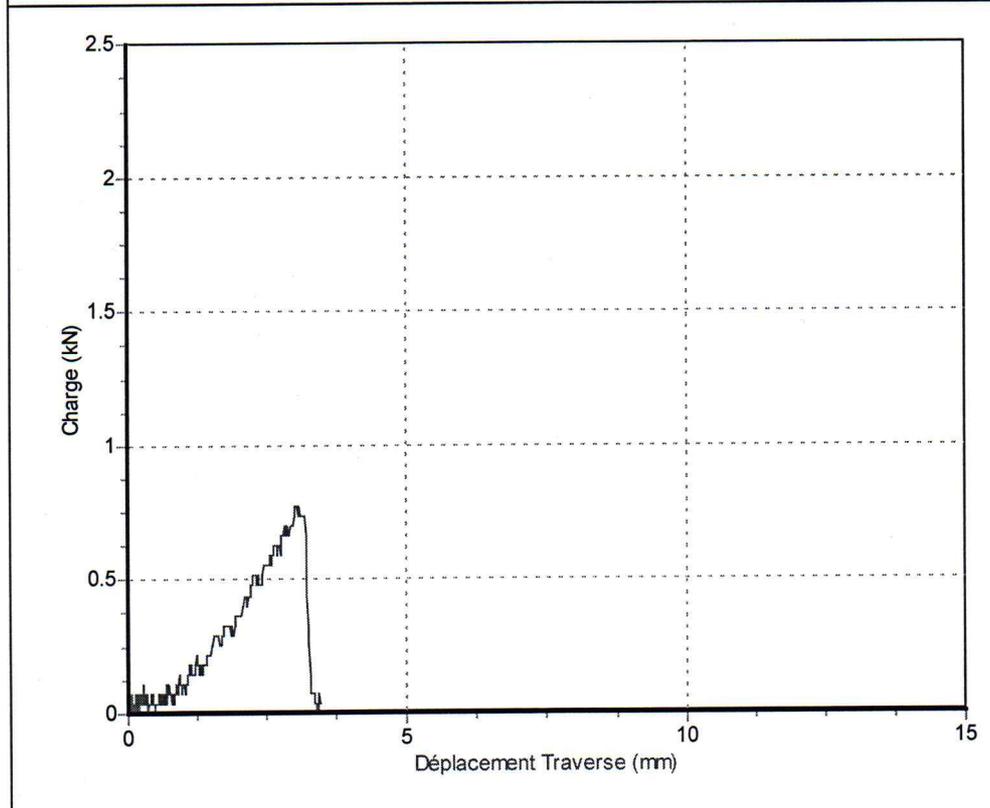
Responsable

essai 3 ep 0,3 20 % horizontale

**PROVA DI TRAZIONE
NORMATIVA EN 10002/1**

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm ² /s
Largeur	8.00 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	4.50 mm	Lo	70.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	36.000 mm ²	Lu	.00 mm

--	--	--	--



Résultats d'essais	
Rm	21.426 N/mm ²
A	%
Fm	.771 kN
FeL	kN
ReL	N/mm ²
FeH	kN
ReH	N/mm ²
Z	%

Opérateur	Responsable
_____	_____