



HAL
open science

Etude de la résistance au choc de tubes PVC tri-couches

Laurence Meylheuc, Anne-Sophie Lichtlé, Emmanuel Caillaud

► **To cite this version:**

Laurence Meylheuc, Anne-Sophie Lichtlé, Emmanuel Caillaud. Etude de la résistance au choc de tubes PVC tri-couches. CFM 2007 - 18ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2007, Grenoble, France. hal-03360493

HAL Id: hal-03360493

<https://hal.science/hal-03360493>

Submitted on 30 Sep 2021

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

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

Étude de la résistance au choc de tubes PVC tri-couches

Anne-Sophie Lichtlé*, Laurence Meylheuc & Emmanuel Caillaud

Institut National des Sciences Appliquées
Laboratoire de Génie de la Conception
24, boulevard de la Victoire 67084 Strasbourg
* anne-sophie.lichtletruchassou@insa-strasbourg.fr

Résumé :

Actuellement, la tenue au choc des tubes PVC à parois structurées utilisés dans le domaine de l'assainissement n'est pas garantie. Une étude de la résistance au choc a été menée dans l'optique d'améliorer la qualité du produit fini. Dans un premier temps, l'influence du procédé de fabrication sur la résistance au choc a été analysé. Cette analyse montre que la structure du tube n'est pas homogène sur sa circonférence. Des expériences supplémentaires ont ensuite été menées qui mettent en évidence des zones de plus faible résistance : les surfaces de recollement. Ces surfaces se créent en production lors de l'écoulement de la matière dans la tête d'extrusion. Pour comprendre la formation de ces surfaces et limiter leur influence, l'écoulement de la matière a été étudié par voie numérique grâce au logiciel Polyflow.

Abstract :

Currently, the manufacturing process that produces multi-layer PVC pipes for sewage systems does not guarantee impact resistance. Therefore, a study has been conducted in order to improve the pipes resistance to impact. Firstly we analyse the influence of the process settings on the impact resistance. It has been shown and confirmed through instrumented impact tests that the impact resistance is not homogeneous within the entire pipe structure. The tests prove existence of weak areas on the pipes. Those areas correspond to the welding surface created during the extrusion process. Secondly to provide a better understanding of this phenomenon, we set up a numerical model of the melting flow using the CFD software Polyflow.

Mots-clefs :

Tubes PVC ; résistance au choc ; simulation.

1 Introduction

L'objet de l'étude porte sur des tubes PVC à parois structurées utilisés dans le domaine de l'assainissement pour évacuer les eaux usées. Ces tubes sont composés d'une couche de PVC moussé comprise entre deux couches de PVC compact (voir figure 1).

Les tubes doivent répondre à un ensemble de normes fixées par la France et l'Europe. Ces normes imposent une résistance en traction, rigidité ainsi qu'une résistance au choc élevées (Norme NF EN 744 (1995)). Les difficultés à maîtriser l'essai de choc ont amené des travaux visant d'une part à mieux comprendre les phénomènes de rupture observés, et d'autre part à formuler les conditions d'une conception améliorée pour des tubes PVC à la fois tenaces, rigides et légers.

Dans ce contexte, nous proposons d'exposer les résultats de nos travaux. Dans un premier temps, l'influence du procédé de fabrication sur la résistance au choc est présentée. Cette première analyse montre que la structure du tube n'est pas homogène sur sa circonférence. Pour valider cette constatation, des tests de résistance au choc ont été menés. Un dispositif expérimental original permettant de quantifier la sévérité des chocs a été réalisé. Les résultats d'essais

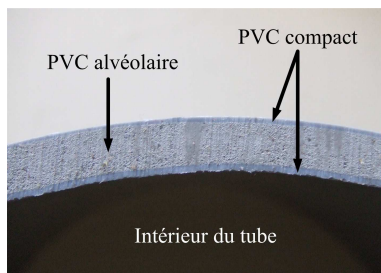


FIG. 1 – Vue en coupe d'un tube.

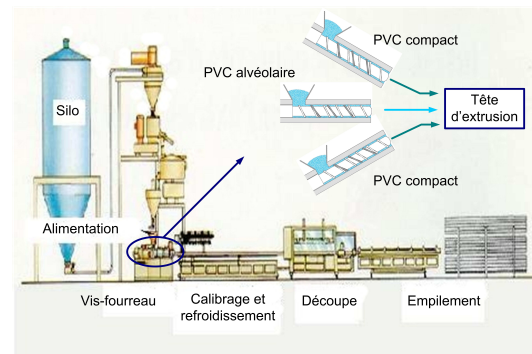


FIG. 2 – Ligne d'extrusion.

ont permis de mettre en évidence l'influence des surfaces de recollement. Pour comprendre la formation de ces surfaces et limiter leur influence, l'écoulement de la matière lors de la fabrication des tubes a été étudié par voie numérique grâce au logiciel Polyflow.

2 Le procédé d'obtention des tubes

Les tubes PVC sont produits par co-extrusion (voir figure 2). Ce procédé de transformation continu comporte trois étapes cruciales conférant des propriétés finales au produit. La première étape consiste à alimenter en matière trois extrudeuses. La seconde étape consiste à plastifier la matière grâce à un ensemble vis-fourreau. Cette étape constitue le cœur du procédé de co-extrusion. La dernière étape est le figeage des dimensions de l'extrudât grâce au calibre et aux bacs de refroidissement.

L'analyse de l'influence du procédé de fabrication montre l'influence de trois paramètres cruciaux sur la résistance au choc des tubes.

- **le degré de gélification de la matière.** La matière première, initialement sous forme de poudre, est chauffée et cisailée pour atteindre un état pseudo-fondu. Le degré de gélification quantifie le pourcentage de matière transformée de l'état poudre à l'état fondu. D'après Thomas *et al.* (1995), le degré de gélification doit approcher 70 % pour maximiser la résistance au choc d'éprouvettes réalisées en PVC compact (essais Charpy). Ce degré de gélification est fonction de la matière utilisée, de la géométrie de l'unité de plastification qui cisaille et chauffe la matière pour la fondre.
- **la géométrie de la tête d'extrusion.** La spécificité de ces tubes est d'être composé de trois couches de matière : les couches interne et externe sont en PVC compact tandis que la couche intermédiaire est en PVC alvéolaire. Ainsi, trois unités de plastification sont nécessaires à la réalisation des couches des tubes à parois structurées (voir figure 2). Les trois flux de matière se rejoignent dans la tête d'extrusion pour former un tube circulaire. L'écoulement de la matière dans la tête d'extrusion suit un cheminement complexe et est perturbé par des obstacles : les ailettes. Les flux de matières se ressoudent en aval des ailettes, il se crée alors des surfaces de recollement qui peuvent diminuer localement la propriété de résistance au choc (Merah *et al.* (2003)).
- **les unités de calibrage et de refroidissement.** En sortant de la tête d'extrusion, le tube est calibré aux dimensions fixées par les normes, puis refroidi. Cette étape crée des contraintes internes de traction et de compression dans la structure (Parant *et al.* (1995)). Les contraintes internes de traction accroissent la sévérité du choc (Bao *et al.* (2002)).

Tous ces paramètres influent sur la résistance au choc des tubes. Les contraintes internes

ainsi que le degré de gélification sont des facteurs qui affectent de manière globale le comportement du tube. Les surfaces de recollement sont quant à elles localisées dans des zones spécifiques. Les tests de résistance au choc vont permettre de hiérarchiser l'influence de ces trois facteurs sur le comportement des tubes.

3 Étude expérimentale de la résistance au choc

3.1 La structure étudiée

Le diamètre des tubes étudiés est égal à 200 mm. L'essai de choc est réalisé sur uniquement un échantillon de 20 cm de long. Les échantillons de tube sont conditionnés pendant 15 min dans un bain d'eau réfrigérée à 0 °C. Ces tubes sont conformes au test de choc lorsqu'aucun endommagement n'est visible.

3.2 Descriptif de l'essai

D'après la norme de résistance au choc (Norme NF EN 744 (1995)), une machine d'essai par poids tombants doit être constituée de plusieurs éléments (voir figure 3) :

- un châssis, avec des rails ou un tube de guidage fixés en position verticale pour guider le percuteur en chute libre ;
- un support en vé sur lequel repose le tube ;
- un percuteur, avec une tête hémisphérique ;
- un mécanisme de libération du percuteur.

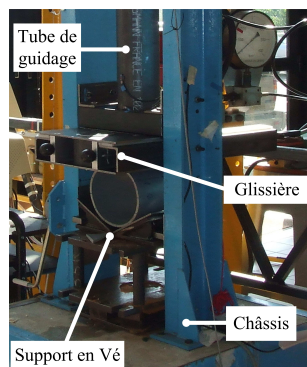


FIG. 3 – Machine d'essais de choc.

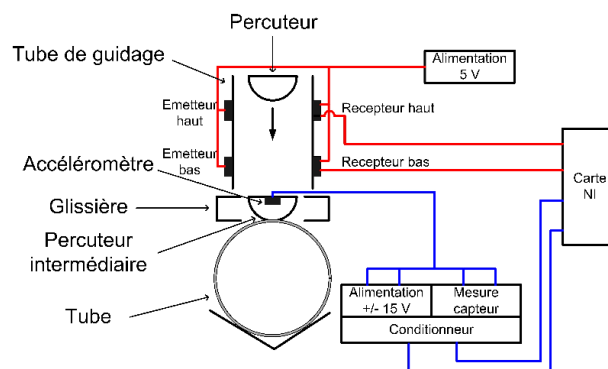


FIG. 4 – Câblage de principe du dispositif expérimental.

Idéalement, pour instrumenter une machine d'essais de choc, un accéléromètre est placé dans le percuteur qui est lâché d'une hauteur de 2 m. À l'extrémité de l'accéléromètre se trouvent des fils qui transmettent le signal au conditionneur puis à la carte d'acquisition. La chute du percuteur peut provoquer, en cas de mauvaise manipulation, la rupture de ces fils, donc l'endommagement du capteur. Pour éviter ce problème, un dispositif dans lequel est situé un percuteur intermédiaire a été conçu (voir figure 4). Un accéléromètre est fixé dans cette pièce. L'avantage de cette solution est que l'accéléromètre ne parcourt pas toute la hauteur de chute. Les connectiques du capteur ne constituent donc plus un problème. Le capteur utilisé est un accéléromètre piézo-résistif de la série EGCS de chez ENTRAN (EGCS A2 1000) d'une capacité de 1000 G. La vitesse du percuteur mobile est contrôlée par capteurs optiques juste avant l'impact.

4 Résultats et interprétation

Deux séries d'essais ont été réalisées. Dans un premier temps, les tubes ont été impactés entre deux lignes de recollement, au niveau d'une génératrice (voir figure 5). Les chocs ont été répétés plusieurs fois, au même endroit, pour vérifier s'il se produit un endommagement progressif de la structure. Dans un second temps, les chocs ont été réalisés au niveau des lignes de recollement.

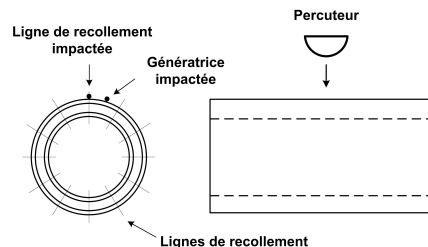


FIG. 5 – Position des points d'impact.

Pour classer la sévérité des chocs, il est nécessaire de définir un critère. Mori (2006) représente la variation de vitesse et d'accélération maximale. Une structure est capable de subir une forte accélération si le choc crée une faible variation de vitesse. À l'inverse, un corps peut résister à une forte variation de vitesse si la variation d'accélération est faible. Il existe donc une zone au-delà de laquelle un endommagement est susceptible de se produire. De ce fait, plus un choc crée des variations de vitesse et d'accélération importantes et plus il est dommageable à la structure.

Observons le comportement des tubes lorsqu'un choc est répété plusieurs fois sur la même génératrice. La figure 6 représente l'évolution de l'accélération et de la vitesse maximale pour différents essais répétés sur une même génératrice. La plage d'incertitude est représentée par un trait gras et rouge. L'observation de ce graphe ne permet pas de mettre en évidence un endommagement progressif de la structure. De plus, visuellement aucun endommagement n'est observé. Rappelons que ces essais ont été réalisés dans l'optique de hiérarchiser les causes potentielles de baisse de la résistance au choc. Même si le degré de gélification de la matière et la répartition des contraintes internes ne sont pas optimales, ces deux facteurs ne semblent pas avoir une influence notable sur la résistance au choc.

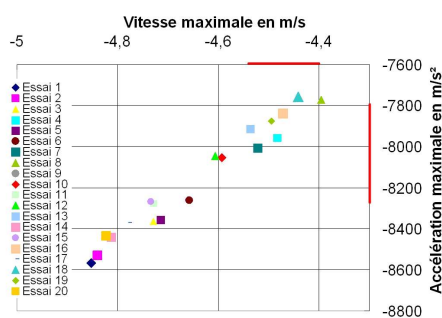


FIG. 6 – Chocs répétés sur une génératrice.

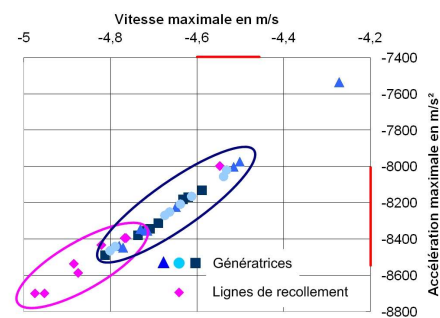


FIG. 7 – Chocs répétés sur des génératrices et des lignes de recollement.

Une seconde série d'essais a été réalisée en impactant systématiquement une ligne de recollement. Les chocs réalisés sur cette ligne conduisent systématiquement à la rupture du tube. Contrairement aux chocs réalisés sur une génératrice, l'endommagement se manifeste par une augmentation de la variation de l'accélération et de la vitesse (voir figure 7).

Ainsi, les surfaces de recollement ont été identifiées comme étant la principale cause de fragilité des tubes lors d'un test de choc. Après avoir précisé l'origine de ces surfaces, une modélisation de l'écoulement de la matière dans la tête d'extrusion est présentée. Enfin, une voie d'amélioration de la qualité des surfaces de recollement est proposée.

5 Modélisation de l'écoulement sous Polyflow

Pour former un tube circulaire creux, la tête d'extrusion doit contenir un noyau, maintenu au bâti à l'aide de plaques à ailettes (voir figure 8). La matière en s'écoulant dans la tête d'extrusion est perturbée par ces plaques. Le polymère se sépare autour de l'obstacle et se ressoude en aval, créant ainsi une surface de recollement. Seul l'écoulement de la couche externe n'est pas perturbé par la présence d'ailettes. Pour comprendre la formation de ces surfaces, l'écoulement de la matière a été étudié par voie numérique grâce au logiciel Polyflow. Polyflow est code de calcul par éléments finis dédié aux écoulements de fluides rhéologiquement complexes.

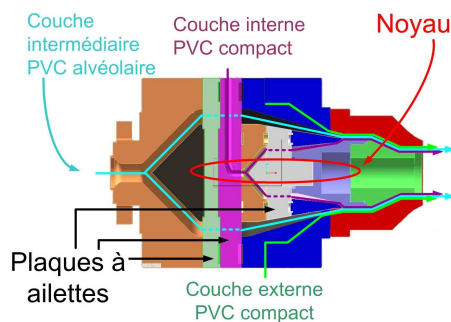


FIG. 8 – Schéma d'une tête d'extrusion.

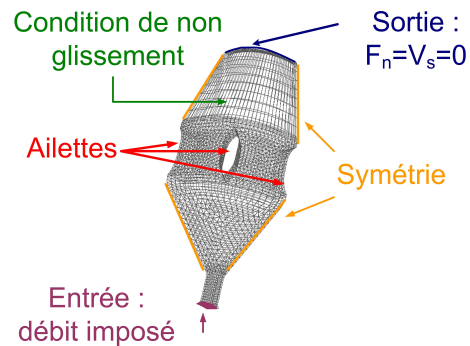


FIG. 9 – Conditions limites imposées aux frontières du domaine.

L'écoulement de la matière dans la couche intermédiaire a été modélisé. Le domaine d'étude a été réduit pour des raisons de symétrie, et seul un quart de l'écoulement a été étudié (voir figure 9). Une loi de comportement de type rhéofluidifiant (Cross) a été choisie. Les coefficients de cette loi ont été identifiés à l'aide de mesures sur un rhéomètre capillaire. Un débit d'entrée de $70\,000\text{ mm}^3/\text{s}$ par seconde a été imposé. Des conditions de non-glissement ont été définies au niveau de la paroi.

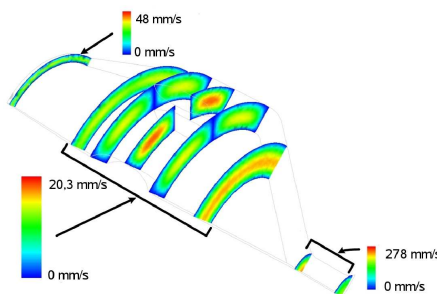


FIG. 10 – Évolution des vitesses dans l'écoulement.

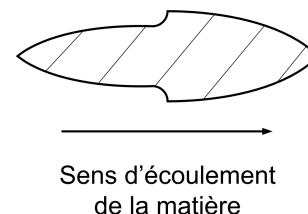


FIG. 11 – Section d'ailette modifiée.

Les vitesses varient le long de l'écoulement (voir figure 10). La vitesse est maximale en entrée d'écoulement au centre de la veine fluide. En s'écoulant à travers le divergent, le flux de matière se ralentit. Ce flux de matière est à nouveau sensiblement accéléré au centre de l'écoulement entre les ailettes. Enfin, en s'écoulant dans le convergent final, les vitesses augmentent.

Pour améliorer la qualité des surfaces de recollement, une nouvelle géométrie d'ailette, adaptée des travaux de Huang (2000), a été étudiée (voir figure 11). Dans un plan perpendiculaire à l'écoulement, la vitesse maximale entre les ailettes est plus élevée pour la nouvelle géométrie. Dans ce cas, la soudure des fronts de matière est favorisée. De plus, le taux de cisaillement maximal observé autour de l'ailette modifiée est plus important, ce qui favorise également la soudure des fronts de matière (voir tableau 1). Cette géométrie d'ailette devrait favoriser le recollement des fronts de matière.

CRITÈRES	AILETTE CLASSIQUE	AILETTE MODIFIÉE
TAUX DE CISAILLEMENT (s^{-1})	1,5	1,6
VITESSE (mm/s)	20,3	22,8

TAB. 1 – Évaluation de la qualité des surfaces de recollement.

6 Conclusions

Plusieurs paramètres sont susceptibles de dégrader la résistance au choc : un degré de géolification inadapté, la présence de surfaces de recollement et de contraintes internes dans la structure. Les tests expérimentaux de résistance au choc ont permis de mettre en évidence le facteur le plus influent : les surfaces de recollement. En s'écoulant dans l'outillage, le flux de matière est perturbé par les ailettes. Pour limiter l'influence de ces surfaces sur la résistance au choc, une géométrie d'ailette différente a été étudiée pour l'écoulement de la couche intermédiaire en PVC moussé. Au cours d'un essai de choc, la couche interne en PVC compact est la plus sollicitée. L'écoulement de cette couche traverse également une plaque à ailettes, qu'il conviendrait d'étudier par simulation. Les tubes produits à partir de nouvelles plaques à ailettes pour les couches interne et intermédiaire, conçues sur la base des résultats des simulations, devront être testés afin de valider l'amélioration de la résistance au choc. Sur la quantité totale des déchets, la résistance au choc est la propriété qui crée le plus de rebuts. Actuellement, 83 % de rebuts est issu de la non-conformité au test de choc.

Références

- Bao, Y. , Fan, Q. , Su, S. and Yang, J. 2002. Prestressed ceramics and improvement of impact resistance. *Materials Letters*. **57** 518-524
- Huang, Y. , Gentle, C.R. , Lacey, M. , Prentice, P. 2000. Analysis and improvement of die design for the processing of extruded plastic pipes. *Materials and Design*. **21** 465-475
- Mori Y. 2006. Chocs mécaniques et applications aux matériels. *Lavoisier*.
- Merah, N. , Irfan-ul-Hal, M. and Khan, Z. 2003. Temperature and weld-line effects on mechanical properties of C PVC. *Journal of Materials Processing Technology*. **142** 247-255
- Norme NF EN 744. Juillet 1995. Systèmes de canalisations de gaines en plastiques - Tubes thermoplastiques. Méthode d'essai de résistance ax choc externe par la méthode des cadrans.
- Parant, O. , Aboulfaraj, A. , Agassant, J.F. , Haudin, J.M., Vincent, M. 1995. Formation des contraintes résiduelles dans des tubes extrudés. 14^{ème} Congrès Français de Mécanique.
- Thomas, N.L. , Harvey, J.R. 1999 Use of experimental design to investigate processing conditions and K value effects in poly (vinyl chloride) window profile extrusion. *Plastics, Rubber and Composites*. **28** 157-164