MODÉLISATION DU COMPORTEMENT SOUS IMPACT D'UNE PIÈCE PLASTIQUE

B. Confland

► To cite this version:

B. Confland. MODÉLISATION DU COMPORTEMENT SOUS IMPACT D'UNE PIÈCE PLASTIQUE. Journal de Physique IV Proceedings, 1991, 01 (C3), pp.C3-787-C3-794. 10.1051/jp4:19913111 . jpa-00249914

HAL Id: jpa-00249914

<https://hal.science/jpa-00249914>

Submitted on 1 Jan 1991

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.

MODÉLISATION DU COMPORTEMENT SOUS IMPACT D'UNE PIÈCE PLASTIQUE

B. CONFLAND

*Direction de la recherche, Direction des Etudes Matériaux,
8-10 Avenue Emile Zola, F-92109 Boulogne-Billancourt, France*

RESUME.

Le but de cette étude est de développer des méthodes de conception de pièces plastiques soumises au choc. Les travaux se sont limités à l'initiation de l'endommagement sur une pièce impactée. La validation de la modélisation s'est faite en comparant les courbes force - déplacement calculées aux résultats expérimentaux obtenus sur des plaques dans un premier temps et sur des dômes dans un deuxième temps. Ce qui est présenté ici porte sur des matériaux ductiles au comportement élasto-plastique; un polypropylène et un alliage de polymère (PA/PPO).

ABSTRACT. The aim of this research is to develop methods for the design of plastic components for impact loading situations. The study concentrates on the prediction of the initiation of the failure in an impacted component. The validation of the modelisation was made comparing calculated force - displacement curves with experimental results obtained on plates in a first time and on domes in a second time. Results are presented for two materials, a polypropylene and an alloy (PA/PPO), which exhibit an elastic-plastic behaviour.

1 - INTRODUCTION.

L'industrie automobile est une industrie innovante dans le domaine d'utilisation des matériaux composites. Ces matériaux permettent en effet d'allier une grande flexibilité d'emploi à des caractéristiques très variées. Leur utilisation est envisagée pour un grand nombre de fonction: pièces de carrosserie, suspension, pièces structurelles et semi- structurelles.

Cependant les moyens existants pour permettre de prévoir la résistance à l'impact d'une pièce plastique sont loin d'être satisfaisants. Un classement des matériaux par les essais standards de choc en laboratoire ne se retrouve pas systématiquement sur les pièces transformées dans les mêmes matériaux. De plus, de tels essais ne permettent en aucune manière de déterminer des caractéristiques intrinsèques au matériau utilisables dans des codes de calcul. Le but de cette étude a donc été d'établir une procédure de conception de la résistance à l'impact de pièces plastiques et composites, basée sur une analyse éléments finis et sur les propriétés intrinsèques des matériaux données par des tests de laboratoire. Dans un premier temps nous avons modélisé le comportement d'une plaque éprouvette soumise à un test de choc multiaxial instrumenté en faisant varier les conditions standards de cet essai. Une fois la méthodologie de calcul mise au point, nous avons étendu le modèle à une géométrie plus complexe qui se trouve être un dôme, éprouvette développée chez VOLKSWAGEN.

Ne seront présentés ici que les résultats sur les matériaux au comportement élasto-plastique. Il s'agit d'un alliage PA/PPO et d'un POLYPROPYLENE.

2 - LA DEMARCHE:

Une importante réflexion a été menée pour quantifier les besoins à la fois des spécialistes des essais et de la modélisation, pour parvenir à simuler une pièce soumise à un choc. Une première phase a consisté à étudier des plaques soumises à un choc. Le choc multiaxial a été retenu comme support de cette partie de l'étude. En faisant varier les conditions standards de cet essai (cf tableau 1), plusieurs configurations d'impact pouvaient être abordées.

Tableau 1: Présentation des différentes conditions d'impact pour le choc multiaxial.

Parallèlement des essais de traction ont été réalisés afin de fournir au code de calcul des lois de comportement viables pour reproduire l'expérience du choc.

Une fois cette partie achevée, on était en droit de penser que la méthodologie qui venait d'être mise au point pouvait être transposée à des pièces de plus grande géométrie. La deuxième phase prévoyait donc l'étude d'un dome soumis à un choc. Ce dome introduit dans l'approche une géométrie plus complexe, des états de contrainte et des modes de rupture différents par rapport aux plaques.

3 - RESULTATS.

3-1-Essai de choc multiaxial.

Les éprouvettes sont des plaques carrées d'épaisseur 3 mm et de côté 60, 100 et 140 mm, cela afin de garder la même proportion de matériaux en dehors de la bague.

Les essais ont été effectués à deux températures, - 20 °C et température ambiante, et à deux vitesses de sollicitation, 1 m / s et 4,4 m / s. La lubrification de l'impacteur a aussi été étudiée. Le dépouillement a été fait à la force maximum, la deuxième partie de la courbe intégrant des phénomènes de propagation qui ne nous

intéressent pas ici. Les tableaux 2 et 3 présentent les résultats, avec leur écart type σ , obtenus sur l'alliage et le polypropylène pour des éprouvettes bridées et avec une géométrie de bague circulaire. Il a en effet été constaté que la géométrie carrée impliquait un endommagement selon les diagonales de la bague, les valeurs enregistrées en terme de contraintes restant identiques.

On constate pour les deux matériaux, que la force maximum varie peu ou à une légère tendance à diminuer avec l'augmentation de la taille des éprouvettes, alors que l'énergie et le déplacement en ce point augmentent. L'alliage de polymère présente un changement de comportement entre les deux températures, tendant vers un comportement fragile pour les basses températures. L'augmentation de la vitesse d'impact s'accompagne d'une augmentation de toutes les caractéristiques.

Cette campagne d'essai a permis de recenser tous les aspects qui devraient être pris en compte par la modélisation: Influence du taux de déformation, de la température, du frottement.

Tableau 2: Résultats de choc multiaxial sur l'alliage de polymère.

CONDITIONS D'ESSAI		FORCE MAXIMUM	ENERGIE (Fmax)	DEPLACEMENT
20°C	Ø= 40 mm	3548 ± 57	11,0 ± 0,2	6,3 ± 0,1
1 m/s	Ø= 80 mm	2840 ± 12	11,9 ± 0,1	9,8 ± 0,1
	Ø= 120 mm	2560 ± 10	13,1 ± 0,1	12,6 ± 0,2
20°C	Ø= 40 mm	9830 ± 710	89,8 ± 6,9	15,9 ± 0,4
4,4 m/s	Ø= 80 mm	8410 ± 1100	90,1 ± 25,8	20,9 ± 2,9
	Ø= 120 mm	9050 ± 447	120,7 ± 8,9	27,7 ± 1,5
(-20°C)	Ø= 40 mm	4600 ± 70	10,9 ± 0,1	5,1 ± 0,2
1 m/s	Ø= 80 mm	2860 ± 38	10,8 ± 0,2	8,6 ± 0,2
	Ø= 120 mm	2675 ± 25	12,1 ± 0,1	9,9 ± 0,6
(-20°C)	Ø= 40 mm	11220 ± 619	90,4 ± 9,2	14,6 ± 0,7
4,4 m/s	Ø= 80 mm	10230 ± 843	114,2 ± 22,6	22,9 ± 2,2
	Ø= 120 mm	9511 ± 1500	126,6 ± 36,4	28,1 ± 3,9

Tableau 3: Résultats de choc multiaxial sur le polypropylène.

CONDITIONS D'ESSAI		FORCE MAXIMUM	ENERGIE (Fmax)	DEPLACEMENT
20°C	Ø= 40 mm	1928 ± 47	12,2 ± 0,1	12,9 ± 0,6
1 m/s	Ø= 80 mm	1600 ± 33	12,5 ± 0,3	16,5 ± 0,3
	Ø= 120 mm	1548 ± 24	13,2 ± 0,3	18,7 ± 1,1
20°C	Ø= 40 mm	2865 ± 88	28,9 ± 1,8	17,7 ± 0,7
4,4 m/s	Ø= 80 mm	2573 ± 64	35,6 ± 1,5	25,6 ± 0,6
	Ø= 120 mm	2687 ± 60	41,6 ± 1,9	31,0 ± 0,7
(-20°C)	Ø= 40 mm	2670 ± 93	12,8 ± 0,1	9,35 ± 0,3
1 m/s	Ø= 80 mm	2164 ± 46	13,2 ± 0,2	13,3 ± 0,4
	Ø= 120 mm	1945 ± 54	13,9 ± 0,1	15,7 ± 0,6
(-20°C)	Ø= 40 mm	4208 ± 440	40,9 ± 4,6	16,9 ± 0,8
4,4 m/s	Ø= 80 mm	3500 ± 148	40,8 ± 3,3	22,2 ± 1,1
	Ø= 120 mm	3625 ± 284	51,8 ± 5,3	28,9 ± 1,3

3 - 2 - Résultats de calcul

Dans le but de modéliser les chocs présentés ci-dessus, des essais de traction ont été réalisés de façon à fournir des lois de comportement au code de calcul. Cependant en ce qui concerne les matériaux ductiles, la difficulté provient de l'endommagement qui se localise sur l'éprouvette pendant l'essai. Cette striction, plus ou moins prononcée suivant les matériaux, oblige l'expérimentateur à recalculer les courbes expérimentales donnant des valeurs nominales, en une courbe contrainte vraie / déformation vraie, nécessaire pour le calcul

3 - 2 - 1 Essai avec l'alliage de polymère.

Avec l'alliage de polymère, les courbes ont été recalculées en appliquant l'hypothèse de conservation de volume au cours de l'essai, à savoir:

$$SL = S_0 L_0 \quad \sigma = \frac{F}{S} = \frac{F L}{S_0 L_0}$$

S_0 = section initiale

L_0 = longueur utile

S = section au cours de l'essai

L = longueur au cours de l'essai

Dans le cas de l'alliage cette approche était tout à fait adapter car la striction sur ce matériau est très diffuse. La figure 1 présente une courbe recalculée à partir d'une courbe expérimentale pour l'alliage de polymère.

Figure 1: Courbe contrainte / déformation vraie obtenue à partir de l'hypothèse du volume constant.

Les calculs du comportement d'une plaque en alliage se basent sur ce type de courbe. La modélisation a aussi regardé les phénomènes de frottement et leur incidence sur le comportement du matériaux. Expérimentalement on observe en effet, deux types de rupture, schématisés figure 2, selon lubrification ou non de l'impacteur.

Figure 2: Différents modes de rupture avec ou sans lubrifiant dans le cas de l'allige

L'analyse par éléments finis réalisée sur le code ABACUS, reproduit ces observations expérimentales en considérant un facteur "stiffness in stick" représentatif du frottement.. Ce facteur est un rapport entre la contrainte de cisaillement à l'interface et le déplacement relatif permis à l'interface. Plus le cisaillement sera grand, moins cet effet sera important. La figure 3 rapporte les résultats ainsi obtenus.

Figure 3: Modélisation du comportement sous choc multiaxial d'une plaque en alliage PA/PPO.
Influence des phénomènes de frottement. Mise en évidence des différents modes de striction.
 $\varnothing = 120 \text{ mm}$

Comme pour tous les matériaux ductiles, la vitesse de sollicitation conditionne la réponse mécanique du matériau. Plusieurs règles prennent en compte l'influence du taux de déformation sur les caractéristiques du produit. Celle qui a été utilisée ici est l'expression de SYMONDS-COOPER qui est de la forme:

$$\dot{\epsilon} = D \left[\frac{\sigma_{y,\dot{\epsilon}}}{\sigma_{0,0}} - 1 \right]^p$$

avec **D** et **P** constantes du matériau

$\sigma_{0,0}$ contrainte statique seuil

$\sigma_{y,\epsilon}$ contrainte pour un taux de déformation ϵ .

La prise en compte de tous ces phénomènes et l'utilisation des lois de comportement obtenues en traction ont permis le calcul des courbes force - déplacement des expériences de choc. C'est ce que regroupe la figure 4.

L'écart qui est constaté dans le cas d'un diamètre de la bague de 120 mm provient de la difficulté de la détection du contact de la plaque et de l'impacteur. La dimension de la plaque induit en effet une plus grande flexibilité et donc des problèmes de contact au tout début de l'essai. Une simple translation des courbes ramènerait la superposition des courbes.

3 - 2 - 2 Essais sur le polypropylène.

Nous nous sommes heurtés ici au problème de l'obtention des courbes de traction contrainte - déformation vraies. La striction apparaissant dès la mise en charge, l'hypothèse de volume constant ne peut être appliquée. Les résultats obtenus ne montrent pas une bonne corrélation entre le calcul et l'expérience, figure 5. L'acquisition de la loi de comportement pourrait s'envisager suivant plusieurs solutions. Le dépôt d'une grille à la surface de l'éprouvette couplé à un suivi photographique permettrait de suivre la déformation vraie et de remonter à la loi de comportement. on pourrait aussi réaliser de la traction sur des éprouvettes larges et mesurer la déformation au centre de l'éprouvette. A souligner cependant que ces méthodes sont lourdes de mise en oeuvre.

Figure 4: Comparaison des courbes expérimentales et calculées pour les différentes dimensions de bague, avec ou sans frottement. ($\mu=0,35$, $\mu=0$): (a) 40 mm, (b) 80 mm, (c) 120 mm.

figure 5: Modélisation du comportement au choc d'une plaque de polypropylène, avec et sans frottement. La loi de comportement n'est pas satisfaisante pour une bonne corrélation

3- 3 Cas du dome.

Cette étape consistait à modéliser un dome soumis à un choc à l'aide des lois de comportement définies au cours de la première partie. Des essais d'écrasement quasi- statique et à différentes vitesses de sollicitation ont été réalisés afin d'observer les modes de déformation intervenant pendant l'impact. La figure 6 montre quatre clichés rapportant les déformées du dome dans le cas de l'alliage. On peut remarquer le pli formé sur la circonférence de l'éprouvette (cliché 4). Cette instabilité plastique due au flambement n'est observée que dans le cas de l'alliage . La déformation ici, est telle que l'approche de la modélisation pourra être axisymétrique

Dans le cas du polypropylène les observations montrent une déformation en "étoile " à la tête du dome. Ce mode d'endommagement va impliquer une modélisation à l'aide d'une solution non- axisymetrique si l'on veut reproduire ce type de dégradation.

Les difficultés pour la simulation porteront surtout sur la reproduction des phénomènes de flambement intervenant sur la structure . De plus, le meilleur compromis doit être trouver entre une relative simplicité de la méthodologie et une bonne corrélation des résultats du calcul avec les essais.

figure 6: Essai de choc sur un dome en alliage de polymère.
V= 5 km/h

4 - CONCLUSION:

Cette étude nous a permis de concevoir une méthodologie décrivant le comportement sous impact d'une pièce plastique. Dans le cas des matériaux ductiles / fragiles, comme l'alliage de polymère PA / PPO, il a été possible de déterminer, de façon simple, la loi de comportement nécessaire à la simulation numérique. En effet, l'hypothèse de volume constant était tout à fait appropriée ici. Les résultats de modélisation sur les plaques, basés sur la courbe (σ , ϵ) recalculée, se corrélaient parfaitement aux observations expérimentales. De plus, pour les simulations avec ou sans frottement, la localisation de la striction a pu être reproduite. Pour ce qui est du polypropylène, l'approche se doit d'être différente. La striction qui apparaît dès la mise en charge sur une éprouvette de traction, nous oblige à envisager une autre solution pour obtenir la loi de comportement. L'essai de traction sur de grandes plaques semblerait être le plus indiqué; il s'agit de trouver le meilleur compromis: facilité de l'essai / loi de comportement viable pour le calcul. La modélisation des plaques impactées avait pu se faire de façon axisymétrique compte tenu des déformations observées. L'introduction d'une géométrie plus complexe telle que le dôme conduit à des simulations axisymétriques ou non-axisymétriques selon les matériaux et les modes de déformation intervenants pendant le choc.

REMERCIEMENTS:

L'auteur tient à remercier l'ensemble des partenaires du J.R.C "*impact assessment of plastic components*" pour leur participation active sans qui cette étude n'aurait pu être menée à bien.