SDNV143 - Impact d'un bloc élasto-plastique par un choc laser modélisé par une pression en dynamique

Résumé :

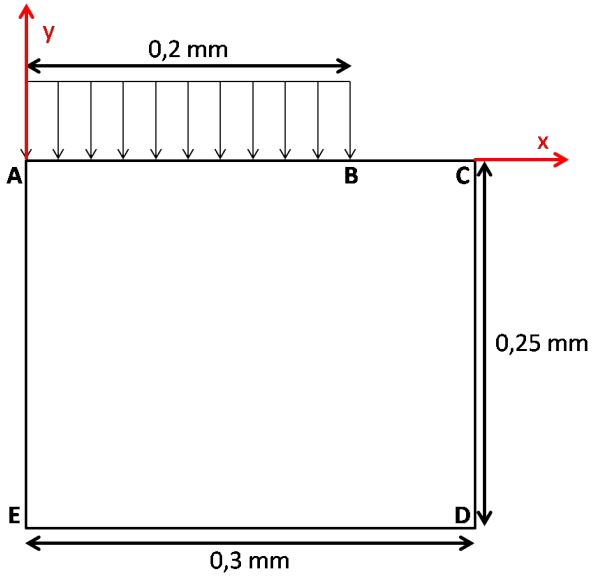
Ce test permet de valider la commande DYNA_NON_LINE avec un comportement non linéaire parfaitement plastique tel que VMIS_ISOT_LINE avec une pente d'écrouissage nulle. Il s'agit d'un bloc soumis à un choc laser modélisé par une pression en dynamique. La solution de référence est un résultat analytique tiré de la thèse de Patrick Ballard [bib1].

Quatre modélisations sont utilisées pour des schémas en temps et des discrétisations spatiales différentes :
- Modélisation A : maillage quadratique et schéma de Newmark (implicite) + VMIS_ISOT_LINE
- Modélisation B : maillage quadratique et schéma de HHT (implicite) + VMIS_ISOT_LINE
- Modélisation C : maillage linéaire et schéma de HHT (implicite) + VMIS_ISOT_LINE
- Modélisation D : maillage linéaire et schéma de DIFF_CENT (explicite) + VMIS_ISOT_LINE

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

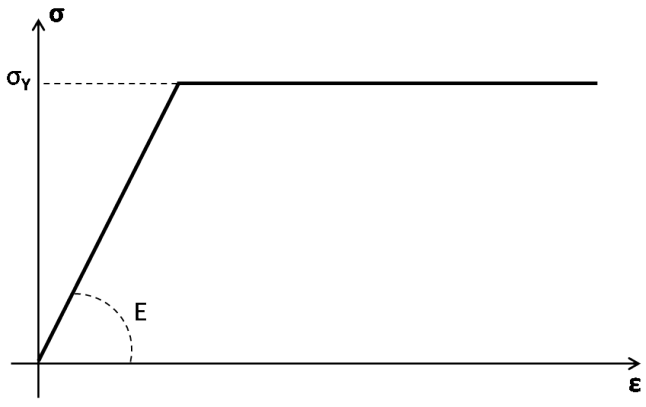
1.1 Géométrie



1.2 Propriétés de matériaux

Le matériau considéré est un acier martensitique avec un comportement élasto-parfaitement plastique.

- Module d'Young : E = 210 GPa
- Coefficient de Poisson : ν = 0,3
- Limite d'élasticité : σ_Y = 870 MPa
- Masse volumique : ρ = 7500 kg/m3

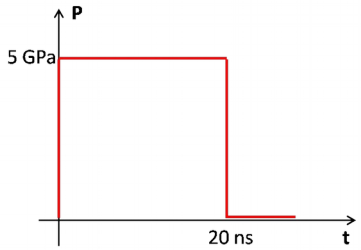


1.3 Conditions aux limites et chargements

Le modèle est axisymétrique, par conséquent, l'axe AE est bloqué suivant x. Le bloc est en appui simple sur le bas, donc ED est bloqué suivant y.

Le chargement est une pression créneau en temps de 5 GPa appliquée pendant 20 ns de façon constante sur un cercle se diamètre 0,4 mm.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)



La propagation de l'onde étant considérée comme plane, nous considérons qu'il n'y a pas d'effets de bords pour un calcul d'une durée de 22 ns.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

On considère le modèle analytique du choc laser établi en 1991 par Patrick Ballard [ref] pour les impacts rapides. Un impact rapide est un impact qui respecte la condition d'uniaxialité des déformations.

Les hypothèses retenues pour le calcul analytique sont les suivantes :
- on se place en hypothèse des petites perturbations (HPP),
- le matériau est élasto-parfaitement plastique, ou à écrouissage cinématique,
- les effets thermiques sont négligés,
- la déformation est supposée uniaxiale.

D'après l'étude menée par Patrick Ballard, différents domaines dépendant de la pression appliquée et du temps d'application de l'impact existent. Dans notre cas, nous sommes dans le domaine élasto-plastique.

La déformation étant supposée uniaxiale, elle s'écrit :

$$\underline{\underline{\epsilon}}=\begin{pmatrix}0 & 0 & 0\\ 0 & \epsilon_{YY} & 0\\ 0 & 0 & 0\end{pmatrix}$$

Dans le cas élasto-plastique, le comportement s'écrit :

$$\underline{\underline{\sigma}}=\lambda.Tr\left(\underline{\underline{\epsilon}}\right)+2\mu.\left(\underline{\underline{\epsilon}}-\underline{\underline{\epsilon_P}}\right)$$

La déformation plastique étant déviatorique, nous obtenons :

$$\underline{\underline{\epsilon_P}}=\begin{pmatrix}-\frac{\epsilon_P}{2} & 0 & 0\\ 0 & \epsilon_P & 0\\ 0 & 0 & \frac{-\epsilon_P}{2}\end{pmatrix}$$

soit :

$$\underline{\underline{\sigma}}=\begin{pmatrix}\sigma_{XX} & 0 & 0\\ 0 & \sigma_{YY} & 0\\ 0 & 0 & \sigma_{XX}\end{pmatrix}$$

avec :

$$\sigma_{XX}=\lambda.\epsilon+\mu.\epsilon_P$$
$$\sigma_{YY}=(\lambda+2.\mu).\epsilon-2\mu.\epsilon_P$$

A ces équations, il faut ajouter le critère de plasticité :

$$\dot{\epsilon_P}=0\ si\ |\sigma_{XX}-\sigma_{YY}|<\sigma_Y$$
$$|\sigma_{XX}-\sigma_{YY}|=\sigma_Y\ sinon$$

En résolvant l'équation fondamentale de la dynamique :

$$\overrightarrow{div}\,\underline{\underline{\sigma}}=\rho\ddot{\vec{u}}$$

nous obtenons les systèmes différentielles qui régissent la propagation des ondes suivants :

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

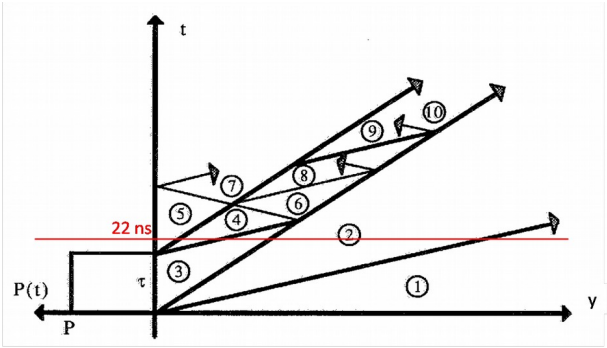
$$\frac{\partial \sigma_{YY}}{\partial y}-\rho\frac{\partial v}{\partial t}=0$$
$$(\lambda+2.\mu)\frac{\partial v}{\partial y}-\frac{\partial \sigma_{YY}}{\partial t}=0$$
$$si\ |\sigma_X-\sigma_Y|<\sigma_Y$$

$$\frac{\partial \sigma_{YY}}{\partial y}-\rho\frac{\partial v}{\partial t}=0$$
$$(\lambda+\frac{2.\mu}{3})\frac{\partial v}{\partial y}-\frac{\partial \sigma_{YY}}{\partial t}=0$$
$$sinon$$

Il existe donc des ondes élastiques et plastiques qui se propagent à des vitesses différentes :

$$c_{elastique}=\sqrt{\frac{\lambda+2.\mu}{\rho}}\quad et\quad c_{plastique}=\sqrt{\frac{\lambda+\frac{2.\mu}{3}}{\rho}}$$

Ci-dessous, on représente la réponse d'un matériau élasto-plastique à une sollicitation créneau en temps analysée par la méthode des caractéristiques, en considérant que lors du front de montée et de descente du chargement créneau, l'on obtient une ligne caractéristique de pente égale à la célérité élastique et une ligne ayant une pente égale à la célérité plastique.



Au passage de la ligne caractéristique, l'équation de continuité dynamique nous donne :

$$[\sigma_{YY}]=-\rho.c.[v]$$

Le résultat brut de la réponse d'un matériau élasto-plastique soumis à une pression P d'une durée τ pour les premiers instants est le suivant :

$$\sigma_1=0$$
$$\sigma_2=-\sigma_Y.(1+\frac{\lambda}{2.\mu})$$
$$\sigma_3=-P$$
$$\sigma_4=-P+2\sigma_2$$
$$\sigma_5=0$$

Ainsi, pour un chargement de 5 GPa d'une durée de 20 ns, les contraintes dans la profondeur à 22 ns sont les suivantes :

- Pour y compris entre 0 mm et 9,4E-3 mm : $\sigma=0$
- Pour y compris entre 9,4E-3 mm et 0,01 mm : $\sigma=-2{,}06295\,GPa$
- Pour y compris entre 0,01 mm et 0,103 mm : $\sigma=-5\,GPa$
- Pour y compris entre 0,103 mm et 0,133 mm : $\sigma=-1{,}46853\,GPa$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- Pour y compris entre 0,133 mm et 0,25 mm : $\sigma = 0$

2.2 Incertitude sur la solution

Aucune (solution analytique).

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

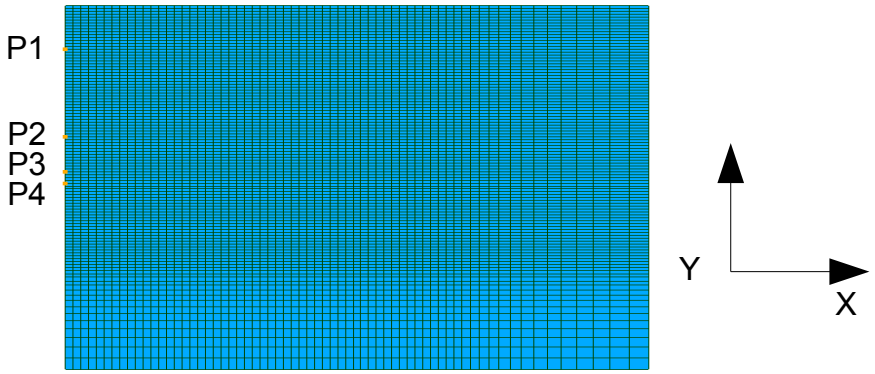
3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation AXIS. Pour la résolution dynamique non linéaire, on adopte le schéma de NEWMARK avec les coefficients de beta=0,25 et gamma=0,5 avec une FORMULATION='DEPLACEMENT'.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est quadratique et comporte 6890 mailles QUAD8, 513 mailles SEG3 de bord et 21013 nœuds.
Liste des groupes de nœuds testés : P1(0,-0,03mm,0), P2(0,-0,09mm,0), P3(0,-0,114mm,0), P4(0,-0,122mm,0)



3.3 Grandeurs testées et résultats

Identification		Instant (10e-9s)	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance (%)
Group_NO	Grandeur				
P1	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−5E9	4
P2	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−5E9	5
P3	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−1468526000.0	10
P4	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−1468526000.0	10

Temps de résolution du transitoire dynamique (elapsed time) = 187s (216 itérations de Newton).

Remarque :

Il est possible moyennant une diminution du pas de temps d'obtenir des résultats encore plus proches de la solution analytique.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

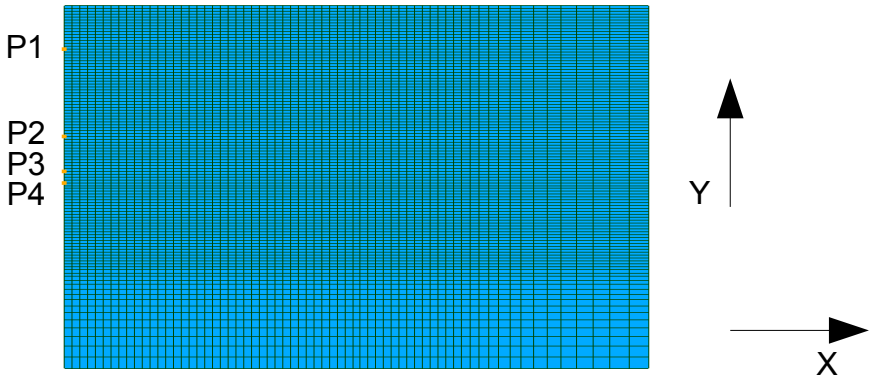
4.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation AXIS. Pour la résolution dynamique non linéaire, on adopte le schéma de «HHT» avec les coefficients de alpha=-0,3 avec MODI_EQUI= 'OUI' avec une FORMULATION='DEPLACEMENT'.

4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est quadratique et comporte 6890 mailles QUAD8, 513 mailles SEG3 de bord et 21013 nœuds.

Liste des groupes de nœuds testés : P1(0,-0,03mm,0), P2(0,-0,09mm,0), P3(0,-0,114mm,0), P4(0,-0,122mm,0).



4.3 Grandeurs testées et résultats

Identification		Instant (10e-9s)	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance (%)
Group_NO	Grandeur				
P1	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−5E9	1
P2	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−5E9	3
P3	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−1468526000.0	15
P4	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−1468526000.0	8

Temps de résolution du transitoire dynamique (elapsed time) = 193s (230 itérations de Newton).

Remarque :

Il est possible moyennant une diminution du pas de temps d'obtenir des résultats encore plus proches de la solution analytique.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Modélisation C

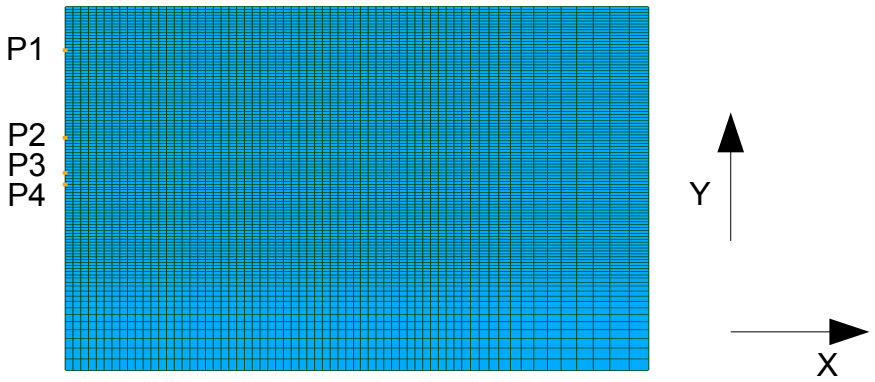
5.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation AXIS. Pour la résolution dynamique non linéaire, on adopte le schéma de HHT avec les coefficients de alpha=-0,3 avec MODI_EQUI= 'OUI' avec une FORMULATION='DEPLACEMENT'.

5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est linéaire et comporte 6890 mailles QUAD4, 513 mailles SEG2 de bord et 7062 nœuds.

Liste des groupes de nœuds testés : P1(0,-0,03mm,0), P2(0,-0,09mm,0), P3(0,-0,114mm,0), P4(0,-0,122mm,0).



5.3 Grandeurs testées et résultats

Identification		Instant (10e-9s)	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance (%)
Group_NO	Grandeur				
P1	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−5E9	1
P2	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−5E9	2
P3	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−1468526000.0	12
P4	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−1468526000.0	7

Temps de résolution du transitoire dynamique (elapsed time) = 75s (215 itérations de Newton)

Remarque :

Il est possible moyennant une diminution du pas de temps d'obtenir des résultats encore plus proches de la solution analytique.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Modélisation D

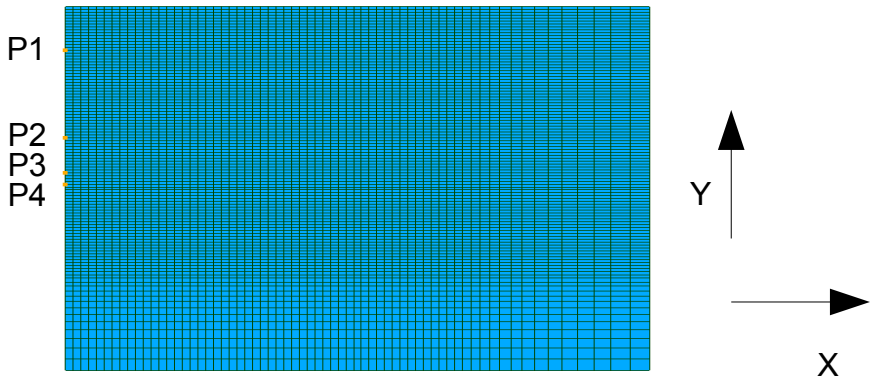
6.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation AXIS. Pour la résolution dynamique non linéaire, on adopte le schéma de DIFF_CENT avec une FORMULATION='ACCELERATION'. Le pas de temps a été réglé à 1.E-10s.

6.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est linéaire et comporte 6890 mailles QUAD8, 513 mailles SEG3 de bord et 7062 nœuds.

Liste des groupes de nœuds testés : P1(0,-0,03mm,0), P2(0,-0,09mm,0), P3(0,-0,114mm,0), P4(0,-0,122mm,0)



6.3 Grandeurs testées et résultats

Identification		Instant (10e-9s)	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance (%)
Group_NO	Grandeur				
P1	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−5E9	1
P2	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−5E9	2
P3	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−1468526000.0	5
P4	*SIYY*	22	'ANALYTIQUE'	−1468526000.0	10

Temps de résolution du transitoire dynamique (elapsed time) = 40s.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

7 Synthèse des résultats

Ce test valide l'utilisation de l'opérateur de dynamique DYNA_NON_LINE avec un comportement plastique de type VMIS_ISOT_LINE.

Les résultats en contraintes sont en bon accord avec les solutions analytiques sur les points proches de la surface et ils sont moins bon en profondeur.

Il faut relever l'influence du pas de temps, du maillage et du choix du schéma en temps sur la qualité de la solution finale.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)