SDNV103 - Impact d'une barre de Taylor élastoplastique

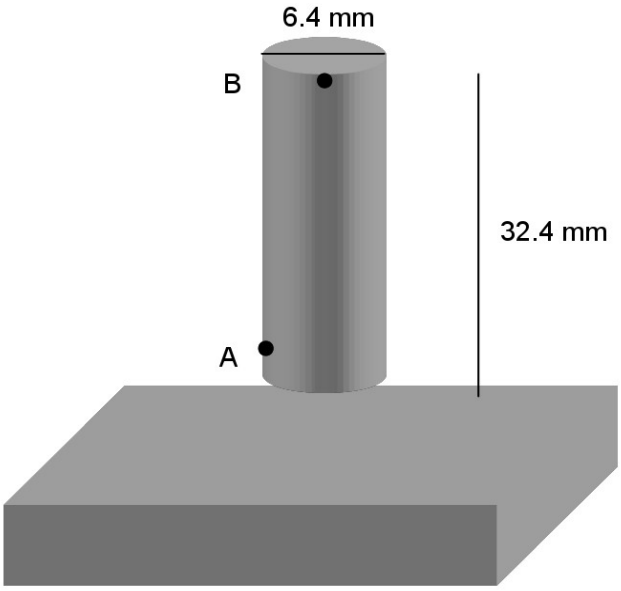
Résumé :

On étudie l'impact frottant d'une barre élastoplastique sur un massif rigide en dynamique non linéaire. La modélisation comprend : contact, frottement, élastoplasticité, grandes déformations.

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

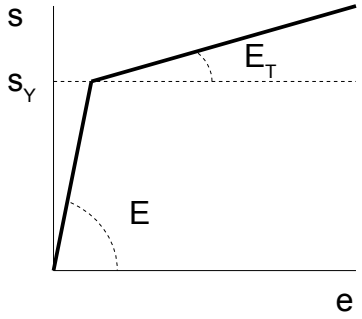
1 Problème de référence

1.1 Géométrie



1.2 Propriétés du matériau

$E = 117.E3\,MPa$
$\nu = 0.35$
$\rho = 8.93\,E-9\,g/mm^3$
$\sigma_Y = 400.\,MPa$
$E_T = 100.\,MPa$



Coefficient de frottement de Coulomb :
$\mu = 0.25$

1.3 Conditions aux limites et chargements

La fondation rigide est complètement bloquée tout au long du calcul.

Le barreau est libre de tout blocage.

Il y a une relation de contact unilatéral avec frottement de Coulomb entre la face inférieure du barreau et la face supérieure de la fondation rigide.

1.4 Conditions initiales

Le barreau est soumis à une vitesse initiale de $227.E3\,mm/s$.

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

La solution de référence provient de [bib1]. Il s'agit de calculs axisymétriques explicites réalisés avec différents codes. On ignore quasiment tout de la modélisation : présence de contact, présence de frottement, coefficient de frottement. Dans cette mesure, on utilise cette référence de manière indicative. Les autres tests seront de non-régression.

2.2 Grandeurs et résultats de référence

Les grandeurs testées sont :

- Déplacement radial du point A : $\frac{3.93+3.86+3.72+3.88+3.96}{5}=3.87\,mm$
- Déplacement vertical du point B : $\frac{-13.24-13.63-13.62-13.57-13.24}{5}=-13.46\,mm$

2.3 Incertitudes sur la solution

Les incertitudes sur la solution de référence sont très importantes (voir [§2.1]).

2.4 Références bibliographiques

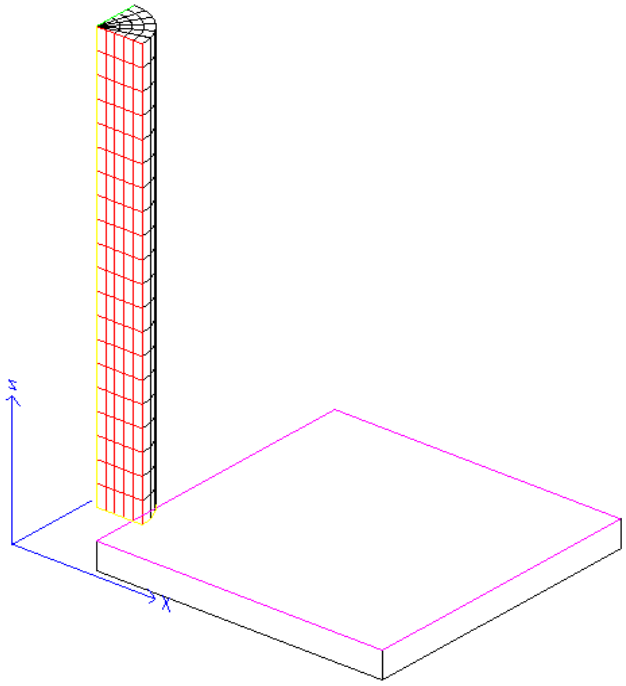
1) L. STAINIER, P.Ph. PONTHOT : « An improved one-point integration method for large strain elastoplastic analysis », Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 118 (1994).

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Test du contact en formulation discrète.



3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 2850
Nombres et types d'éléments : 480 HEXA20, 200 PENTA15, 224 QUAD8, 6 TRIA6, 280 SEG3, 1 HEXA8, 6 QUAD4, 8 SEG2, 101 POI1

3.3 Chargement et discrétisation temporelle

Après avoir appliqué une vitesse initiale verticale de $227.E3\,mm/s$ suivant l'axe Oz, on fait le calcul sur le transitoire $[-1.0E5, +2.5E-7]$ (en secondes).

3.4 Grandeurs testées et résultats

Étant donnée la lourdeur de la modélisation, on ne fait que quelques pas de temps et l'on effectue uniquement des tests de non-régression.

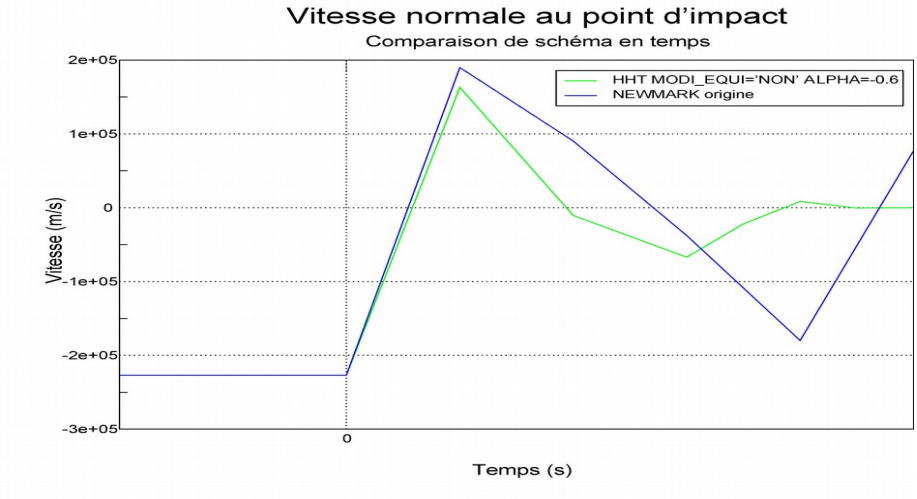
Identification	Type de référence
DEPL - Point A - DZ	'NON_REGRESSION'
VITE - Point A - DZ	'NON_REGRESSION'
CONT_NOEU - Point A - Jeu	'NON_REGRESSION'

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

3.5 Remarques sur la qualité de la solution numérique

Afin de pouvoir évaluer la qualité de la solution obtenue, on propose d'analyser l'évolution de la vitesse au centre de la zone d'impact. Cette quantité s'avère en effet plus discriminante que le déplacement et cela permettra donc de mieux juger de la pertinence des choix algorithmiques pour la résolution transitoire non-linéaire.

Sur le graphe suivant on compare l'utilisation de deux schémas en temps : le schéma implicite non dissipatif de NEWMARK (accélération moyenne) au schéma implicite dissipatif de l'accélération moyenne modifiée (HHT avec `MOD_EQUI = 'NON'` et `ALPHA = -0.6`). Ce deuxième schéma permet d'obtenir une solution « optimale » au sens du contrôle des oscillations parasites sur l'évolution de la vitesse. Pour cela, il faut augmenter la dissipation numérique, en particulier en haute fréquence, dans la structure.
L'amortissement mécanique n'étant pas suffisamment pris en compte dans ce cas-test, on va en tenir compte au travers de l'amortissement du schéma, ce qui explique pourquoi le schéma HHT complet ne serait pas adapté (son amortissement basse fréquence est trop faible).
Comme on ne s'intéresse ici qu'à des temps très courts après le choc, on peut se permettre d'augmenter fortement le paramètre d'amortissement numérique du schéma HHT.



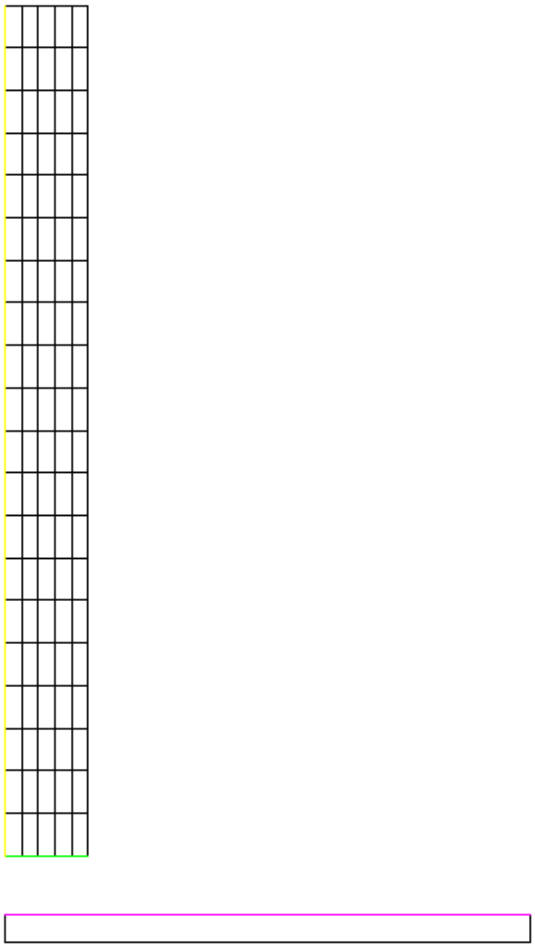
En comparant les solutions calculées, on constate clairement que le schéma de NEWMARK n'est pas très adapté, car la dissipation globale du système mécanique est alors trop faible. Le schéma dissipatif HHT testé ici permet de bien mieux contrôler l'amplitude des oscillations de la solution numérique. Néanmoins, dans le cadre d'une étude réaliste, il est primordial d'avoir au préalable modélisé correctement l'amortissement physique du système. L'amortissement dû au schéma en temps ne doit être utilisé que dans un second temps, en complément, si le schéma non dissipatif de NEWMARK ne permet pas d'obtenir une solution satisfaisante. Pour plus de détails on conseille la lecture de la documentation U2.06.13.

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Le point A (respectivement B) est en deux parties : $A1$ (resp. $B1$) près de l'axe et $A2$ (resp. $B2$) à l'extérieur. Test du contact en formulation discrète.



4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 359
Nombres et types d'éléments : 101 QUAD8, 55 SEG3

4.3 Chargement et discrétisation temporelle

Après avoir appliqué une vitesse initiale verticale de $227.E3\,mm/s$ suivant l'axe Oz, on fait le calcul sur le transitoire $[-1.0E5,+8.0E-5]$.(en secondes).

4.4 Grandeurs testées et résultats

C'est une modélisation axisymétrique donc DX correspond au déplacement radial et DY au déplacement vertical.

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

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DEPL - Point $B1$ - DX	'SOURCE_EXTERNE'	3,87	29%
DEPL - Point $A2$ - DY	'SOURCE_EXTERNE'	-13,46	6,8%
DEPL - Point $B1$ - DX	'NON_REGRESSION'	-	-
DEPL - Point $A2$ - DY	'NON_REGRESSION'	-	-
VITE – Point $B1$ - DX	'NON_REGRESSION'	-	-
VITE – Point $A2$ - DY	'NON_REGRESSION'	-	-

On teste également les grandeurs du contact (le jeu et la réaction) à plusieurs instants :

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
CONT_NOEU - Point A - Jeu – INST =1E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point A - Jeu – INST =2E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point A - Jeu – INST =3E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point A - Jeu – INST =4E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point A - Jeu – INST =5E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point A - Jeu – INST =6E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point A - Jeu – INST =7E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point A - Jeu – INST =8E-5	'NON_REGRESSION'	-	-

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
CONT_NOEU - Point A - Réaction R – INST =1E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point A - Réaction R – INST =2E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point A - Réaction R – INST =3E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point A - Réaction R – INST =4E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point A - Réaction R – INST =5E-5	'NON_REGRESSION'	-	-

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

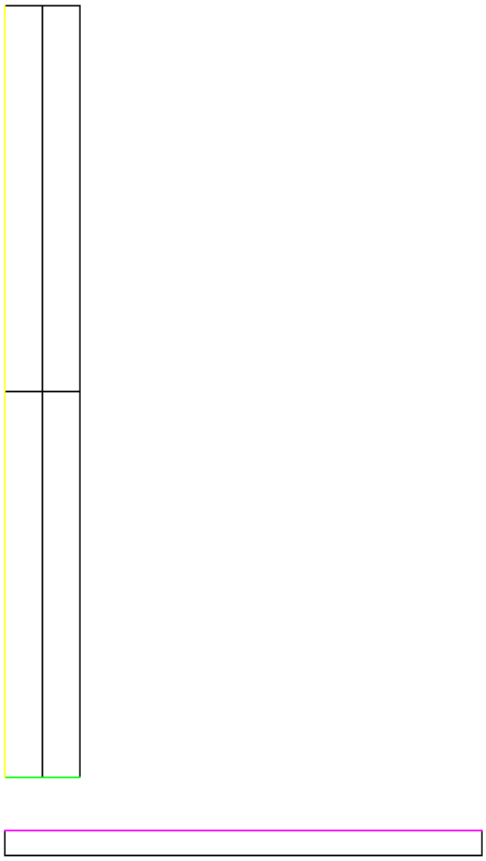
CONT_NOEU - Point A - Réaction R – INST =6E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point A - Réaction R – INST =7E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point A - Réaction R – INST =8E-5	'NON_REGRESSION'	-	-

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

5 Modélisation D

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Le point A (respectivement B) est en deux parties : $A1$ (resp. $B1$) près de l'axe et $A2$ (resp. $B2$) à l'extérieur. Test du contact en formulation discrète.



5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 29
Nombres et types d'éléments : 5 QUAD8, 12 SEG3

5.3 Chargement et discrétisation temporelle

Après avoir appliqué une vitesse initiale verticale de $227.E3 mm/s$ suivant l'axe Oz , on fait le calcul sur le transitoire $[-1.0E5,+2.0E-5]$.(en secondes).

5.4 Grandeurs testées et résultats

C'est une modélisation axisymétrique donc DX correspond au déplacement radial et DY au déplacement vertical.
Pour cette modélisation très allégée qui n'a qu'un rôle de contrôle algorithmique, on ne teste que des valeurs de non-régression.

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

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DEPL - Point $B1$ - DX	'NON_REGRESSION'	-	-
DEPL - Point $A2$ - DY	'NON_REGRESSION'	-	-
VITE – Point $B1$ - DX	'NON_REGRESSION'	-	-
VITE – Point $A2$ - DY	'NON_REGRESSION'	-	-

On teste également les grandeurs du contact (le jeu et la réaction) à deux instants :

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
CONT_NOEU - Point $B1$ - Jeu – INST =1E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point $B1$ - Jeu – INST =2E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point $B1$ - Réaction – INST =1E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point $B1$ - Réaction – INST =2E-5	'NON_REGRESSION'	-	-

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

6 Modélisation E

6.1 Caractéristiques de la modélisation

Cette modélisation met en évidence un calcul dynamique sans chargement (il n'y a pas d'occurrence du mot-clef EXCIT dans DYNA_NON_LINE).

Le contact est remplacé par une liaison unilatérale sur DZ appliquée aux nœuds de la surface basse du barreau.

Le modèle est 3D, sans conditions de symétrie.

6.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1309
Nombres et types d'éléments : 1930 TRIA3, 6 QUAD4, 178 SEG2, 1 HEXA8, 5563 TETRA4

6.3 Chargement et discrétisation temporelle

Après avoir appliqué une vitesse initiale verticale de $227.E3 mm/s$ suivant l'axe Oz, on fait le calcul sur le transitoire $[-1.0E5, +2.5E-7]$.(en secondes).

6.4 Grandeurs testées et résultats

Pour cette modélisation très allégée qui n'a qu'un rôle de contrôle algorithmique, on teste surtout des valeurs de non-régression. Le test sur le déplacement vertical du point A valide la condition unilatérale.

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DEPL – Point $A1$ - DZ	'ANALYTIQUE'	-2,27	1,0 E-8%
VITE – Point $A1$ - DZ	'NON_REGRESSION'	-	-

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DEPL – Point $B1$ - DZ	'NON_REGRESSION'	-	-
VITE – Point $B1$ - DZ	'ANALYTIQUE'	-227000	1,0 E-8%

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DEPL – Point $A1$ - DX	'NON_REGRESSION'	-	-
VITE – Point $A1$ - DX	'NON_REGRESSION'	-	-

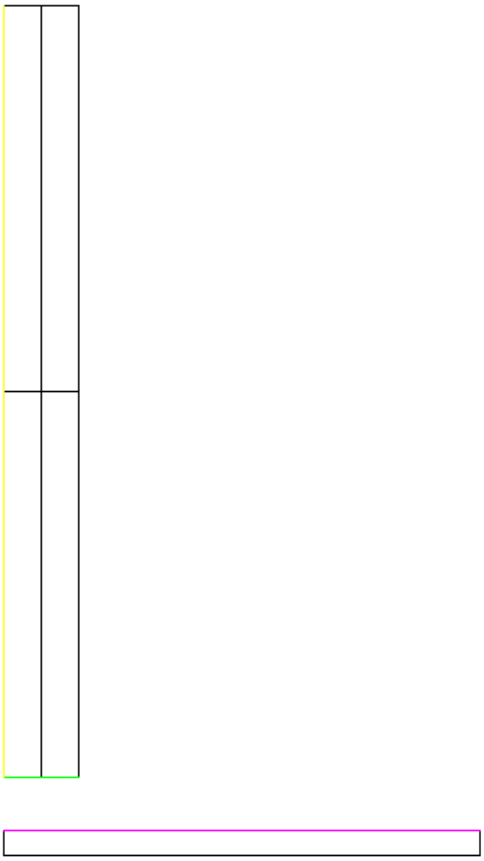
Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DEPL – Point $B1$ - DY	'ANALYTIQUE'	0	1,0 E-12%
VITE – Point $B1$ - DY	'ANALYTIQUE'	0	1,0 E-8%

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

7 Modélisation F

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Le point A (respectivement B) est en deux parties : $A1$ (resp. $B1$) près de l'axe et $A2$ (resp. $B2$) à l'extérieur. Test du contact en formulation continue.



7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 29
Nombres et types d'éléments : 5 QUAD8, 12 SEG3

7.3 Chargement et discrétisation temporelle

Après avoir appliqué une vitesse initiale verticale de $227.E3 mm/s$ suivant l'axe Oz, on fait le calcul sur le transitoire $[-1.0E5, +2.0E-5]$.(en secondes).

7.4 Grandeurs testées et résultats

C'est une modélisation axisymétrique donc DX correspond au déplacement radial et DY au déplacement vertical. Cette modélisation valide le mode de détection automatique de la collision.

On ne teste que des valeurs de non-régression. On teste la découpe du pas de temps en mode AUTOMATIQUE.

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

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DEPL - Point $A1$ - DY	'NON_REGRESSION'	-	-
DEPL - Point $A2$ - DY	'NON_REGRESSION'	-	-
VITE – Point $B1$ - DX	'NON_REGRESSION'	-	-
VITE – Point $A2$ - DY	'NON_REGRESSION'	-	-

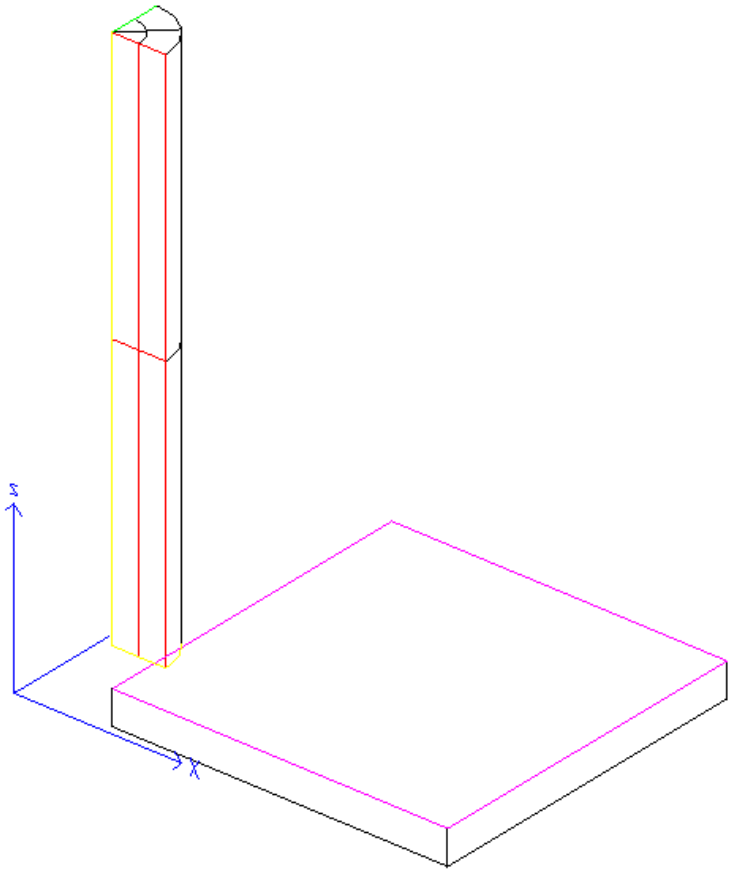
Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
CONT_NOEU - Point $B1$ - Jeu – INST =1E-5	'NON_REGRESSION'	-	-
CONT_NOEU - Point $B1$ - Jeu – INST =2E-5	'NON_REGRESSION'	-	-

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

8 Modélisation G

8.1 Caractéristiques de la modélisation

Test de comportement VMIS_JOHN_COOK en grandes déformations GDEF_LOG.



8.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 2849
Nombres et types d'éléments : 480 HEXA20, 120 PENTA15, 224 QUAD8, 6 TRIA6, 50 SEG3, 1 HEXA8, 1 QUAD4, 1 SEG2

8.3 Chargement et discrétisation temporelle

Après avoir appliqué une vitesse initiale verticale de $227.E3\,mm/s$ suivant l'axe Oz, on fait le calcul sur le transitoire $[-2.5\mathrm{E}-7,+2.5\mathrm{E}-7]$.(en secondes).

8.4 Grandeurs testées et résultats

Pour cette modélisation très allégée qui n'a qu'un rôle de contrôle algorithmique, on ne teste que des valeurs de non-régression.

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

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DEPL - Point $A2$ - DZ	'NON_REGRESSION'	-	-
VITE - Point $A2$ - DZ	'NON_REGRESSION'	-	-

On teste également les grandeurs du contact (le jeu) :

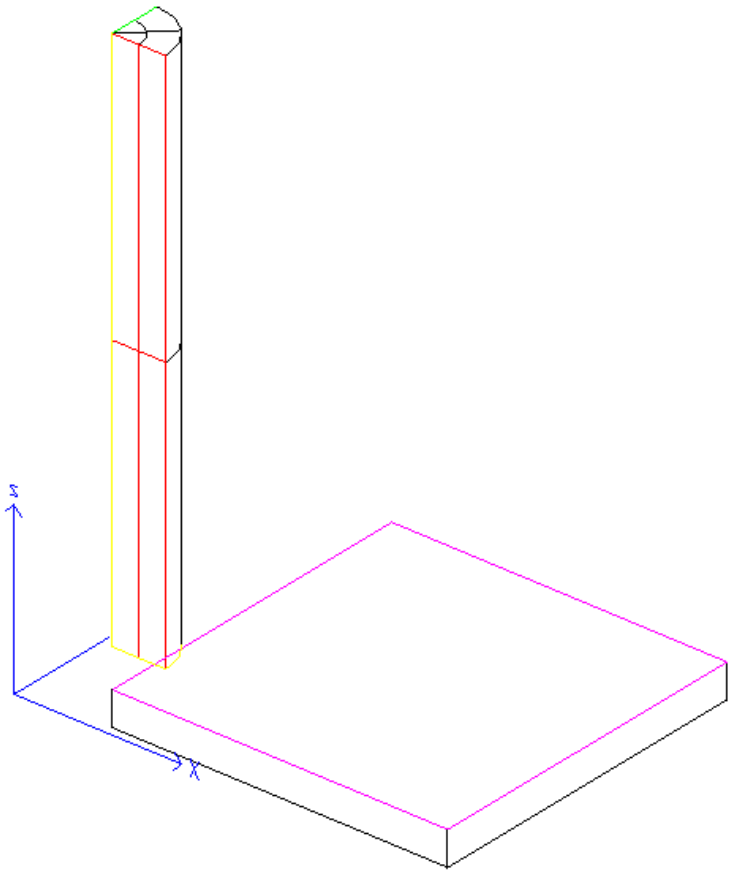
Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
CONT_NOEU - Point $B1$ – Jeu – INST =2,5E-7	'NON_REGRESSION'	-	-

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

9 Modélisation H

9.1 Caractéristiques de la modélisation

Test de l'action de découpe du pas de temps en cas de collision.



9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 73
Nombres et types d'éléments : 4 HEXA20, 4 PENTA15, 10 QUAD8, 2 TRIA6, 8 SEG3, 1 HEXA8, 1 QUAD4, 1 SEG2

9.3 Chargement et discrétisation temporelle

Après avoir appliqué une vitesse initiale verticale de $227.E3\,mm/s$ suivant l'axe Oz, on fait le calcul sur le transitoire $[-1\text{E-}5, +2.0\text{E}-5]$.(en secondes).

9.4 Grandeurs testées et résultats

On teste des valeurs de non-régression à deux instants.
Remarque : le test est instable suivant les plateformes (dynamique+frottement discret)

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

On teste la gestion ***manuelle*** de la liste d'instants :

Identification	Type de référence		
DEPL - Point $B1$ - DX – INST = 1.E-5	'NON_REGRESSION'	Présence d'un TOLE_MACHINE	
DEPL - Point $A2$ - DY – INST = 1.E-5	'NON_REGRESSION'		
VITE - Point $B1$ - DX – INST = 1.E-5	'NON_REGRESSION'	Présence d'un TOLE_MACHINE	
VITE - Point $A2$ - DY – INST = 1.E-5	'NON_REGRESSION'		

On teste la gestion ***automatique*** de la liste d'instants :

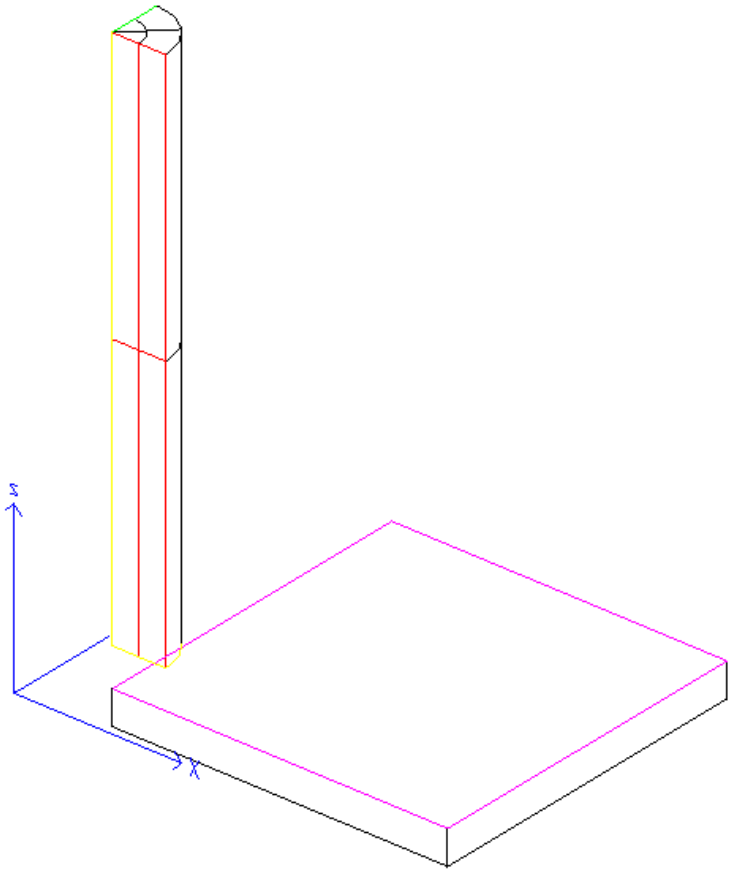
Identification	Type de référence		
DEPL - Point $B1$ - DX – INST = 1.E-5	'NON_REGRESSION'	Présence d'un TOLE_MACHINE	
DEPL - Point $A2$ - DY – INST = 1.E-5	'NON_REGRESSION'		
VITE - Point $B1$ - DX – INST = 1.E-5	'NON_REGRESSION'	Présence d'un TOLE_MACHINE	
VITE - Point $A2$ - DY – INST = 1.E-5	'NON_REGRESSION'		

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

10 Modélisation I

10.1 Caractéristiques de la modélisation

Test de l'action d'adaptation du coefficient de pénalisation par une pénétration maximale donnée par l'utilisateur (ici PENE_MAXI= 1E-5)



10.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 73
Nombres et types d'éléments : 4 HEXA20, 4 PENTA15, 10 QUAD8, 2 TRIA6, 8 SEG3, 1 HEXA8, 1 QUAD4, 1 SEG2

10.3 Chargement et discrétisation temporelle

Après avoir appliqué une vitesse initiale verticale de $227.E3\,mm/s$ suivant l'axe Oz, on fait le calcul sur le transitoire $[-1E\text{-}5, +2.0E-5]$.(en secondes).

10.4 Grandeurs testées et résultats

On ne teste que des valeurs de non-régression au dernier instant.

Identification	Type de référence		
DEPL - Point $B1$ - DX	'NON_REGRESSION'		

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

DEPL - Point $A2$ - DY	'NON_REGRESSION'		
VITE - Point $B1$ - DX	'NON_REGRESSION'		
VITE - Point $A2$ - DY	'NON_REGRESSION'		

On teste également les grandeurs du contact :

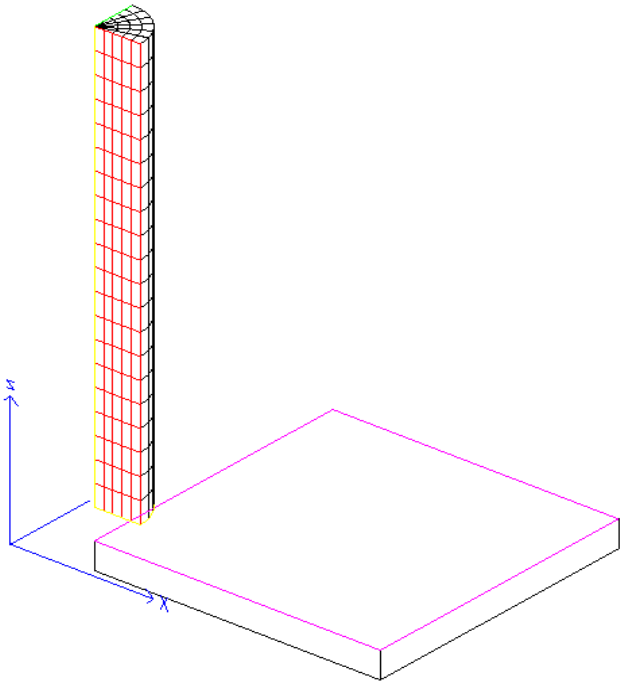
Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
CONT_NOEU – Jeu mini– INST =2,0E-5	'NON_REGRESSION'		

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

11 Modélisation J

11.1 Caractéristiques de la modélisation

Test des éléments HEXA8 sous intégrés en dynamique.



11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 2850
Nombres et types d'éléments : 481 HEXA8, 120 PENTA6, 225 QUAD4, 6 TRIA3, 51 SEG2

11.3 Chargement et discrétisation temporelle

Après avoir appliqué une vitesse initiale verticale de $227.E3\,mm/s$ suivant l'axe Oz, on fait le calcul sur le transitoire $[-1.0E5, +2.5E-7]$ (en secondes).

11.4 Grandeurs testées et résultats

Étant donnée la lourdeur de la modélisation, on ne fait que quelques pas de temps et l'on effectue uniquement des tests de non-régression.

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DEPL - Point A - DZ	'NON_REGRESSION'		
VITE - Point A - DZ	'NON_REGRESSION'		
CONT_NOEU - Point A - Jeu	'NON_REGRESSION'		

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

12 Modélisation K

12.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit des mêmes caractéristiques de modélisation que la modélisation E, cette fois la condition unilatérale est imposée via l'algorithme de pénalisation.

12.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est le même que celui de la modélisation E.

12.3 Chargement et discrétisation temporelle

Le chargement est le même que pour la modélisation E.

12.4 Grandeurs testées et résultats

Les tests sont les mêmes que pour la modélisation E.

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DEPL – Point $A1$ - DZ	'ANALYTIQUE'	-2,27	1,0 E-8%
VITE – Point $A1$ - DZ	'NON_REGRESSION'	-	-

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DEPL – Point $B1$ - DZ	'NON_REGRESSION'	-	-
VITE – Point $B1$ - DZ	'ANALYTIQUE'	-227000	1,0 E-8%

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DEPL – Point $A1$ - DX	'NON_REGRESSION'	-	-
VITE – Point $A1$ - DX	'NON_REGRESSION'	-	-

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
DEPL – Point $B1$ - DY	'ANALYTIQUE'	0	1,0 E-12%
VITE – Point $B1$ - DY	'ANALYTIQUE'	0	1,0 E-8%

12.5 Remarques

En imposant un coefficient de pénalité suffisamment grand (1,0 E+14), on obtient exactement les même résultats qu'avec l'algorithme des contraintes actives (modélisation E).

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

13 Synthèse des résultats

Les présentes modélisations diffèrent de la référence de la littérature par la prise en compte de non-linéarités supplémentaires (contact, frottement), ce qui explique les différences entre leurs résultats respectifs.

On constate aussi que le calcul 3D présente un surcoût de temps CPU très élevé par rapport au modèle axisymétrique, ce qui s'explique à la fois par le plus grand nombre de degrés de liberté mais aussi par le traitement du frottement qui est beaucoup plus complexe en 3D qu'en 2D.

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