SSNV206 - Essai triaxial : modèles LETK, LKR et NLH_CSRM

Résumé

Ce test permet de valider les modèles LETK, LKR et NLH_CSRM en mécanique des roches. Il s'agit d'un essai triaxial en mécanique pure ou en condition drainée. Les calculs sont effectués uniquement sur la partie solide du sol sans couplage hydromécanique. On applique un niveau de confinement de $5\,MPa$. Par raison de symétrie, on ne s'intéresse qu'au huitième d'un échantillon soumis à un essai triaxial. La modélisation est axisymétrique.

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

1 Description des modélisations

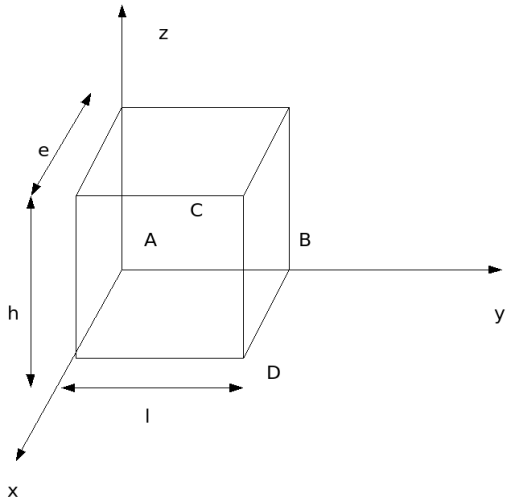
- Modélisation A : L'algorithme local d'intégration du modèle est explicite, classifié comme spécifique par la suite : modèle LETK.
- Modélisation B : L'algorithme local d'intégration du modèle est implicite avec la matrice jacobienne locale obtenue par perturbation : modèle LETK.
- Modélisation C : L'algorithme local d'intégration du modèle est implicite avec la matrice jacobienne locale obtenue analytiquement : modèle LETK.
- Modélisation D : L'algorithme local d'intégration du modèle est explicite, classifié comme spécifique par la suite. Le chargement est appliqué 100 fois plus lentement pour mettre en avant le rôle de la viscosité dans le modèle : modèle LETK.
- Modélisation E : L'algorithme local d'intégration du modèle est implicite avec la matrice jacobienne locale obtenue analytiquement. Le chargement est appliqué 100 fois plus lentement pour mettre en avant le rôle de la viscosité dans le modèle : modèle LETK.
- Modélisation G : L'algorithme local d'intégration du modèle est implicite avec la matrice jacobienne locale obtenue par perturbation, pas de température imposée : modèle LKR .
- Modélisation H : L'algorithme local d'intégration du modèle est implicite avec la matrice jacobienne locale obtenue analytiquement, pas de température imposée, pas de couplage entre les mécanisme plastique et viscoplastique (COUPLAGE_P_VP = 0.) : modèle LKR .
- Modélisation J : L'algorithme local d'intégration du modèle est implicite avec la matrice jacobienne locale obtenue analytiquement , température croissante (0°C-100°C) imposée via AFFE_VARC : modèle LKR .
- Modélisation L : L'algorithme local d'intégration du modèle est implicite avec la matrice jacobienne locale obtenue analytiquement. Le chargement est appliqué 100 fois plus lentement pour mettre en avant le rôle de la viscosité dans le modèle, pas de température imposée : modèle LKR.
- Modélisation M : validation du modèle NLH_CSRM. Le test est réalisé dans le système d'unité international.

Il s'agit de tests de non régression. Les 13 modélisations convergent vers des solutions concordantes pour des discrétisations fines du chargement appliqué.

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

2 Problème de référence

2.1 Géométrie



hauteur : $h=1\,m$
largeur : $l=1\,m$
épaisseur : $e=1\,m$

Coordonnées des points (en mètres) :

	A	B	C	D
x	0.	0.	0.5	1.
y	0.	1.	0.5	1.
z	0.	0.	0.5	0.

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

2.2 Propriétés matériaux pour le modèle LETK

```
PA           = 0.1
NELAS        = 0.
SIGMA_C      = 12.
H0_EXT       = 1.10292
GAMMA_CJS = 0.8
XAMS         = 0.1
ETA          = 0.04
A_0          = 0.25
A_E          = 0.60
A_PIC        = 0.4
S_0          = 0.0005
M_0          = 0.01
M_E       = 2.
M_PIC        = 6.
M_ULT        = 0.61
XI_ULT       = 0.365
XI_E         = 0.028
XI_PIC       = 0.015
MV_MAX    = 3.
XIV_MAX      = 0.0039
A            = 1.5e-12
N            = 4.5
SIGMA_P1     = 57.8
MU0_V        = 0.1
XI0_V        = 0.3
MU1       = 0.1
XI1          = 0.3
```


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

2.3 Propriétés matériaux pour le modèle LKR

```
PA = .1
GAMMA = .85
M_0 = .5
F_P = 0.136047510046
M_1 = 9.69880017363
SIGMA_C = 10.9985715832
A_2 = 0.580184800258
Q_I = 100.000648048
V_1 = 1.5
V_2 = 1.5
XI_1 = 1.e-2
XI_2 = 1.8e-2
XI_5 = 1.6e-2
A = 1.e-18
N = 3.5
RHO_1 = 1.
RHO_2 = 0.1
RHO_4 = 1.10668567265
R_Q = 0.   (sauf pour les modélisations J, = 1.e-6)
R_M = 0.   (sauf pour les modélisations J, = 1.e-6)
R_S = 0.   (sauf pour les modélisations J, = 1.e-6)
R_X1 = 0.   (sauf pour les modélisations J, = 1.e-6)
R_X2 = 0.   (sauf pour les modélisations J, = 1.e-6)
R_X5 = 0.   (sauf pour les modélisations J, = 1.e-6)
Z = 0.   (sauf pour les modélisations J, = 1.e-6)
COUPLAGE_P_VP = 1
A_SIGC = 0.155495602806
B_SIGC = 4.69721443803
```


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

2.4 Propriétés matériaux pour le modèle KH_CSRM

Les paramètres matériaux sont donnés dans le Système d'unités International (SI).

```
YoungModulus=7.0e9
PoissonRatio=0.3
IsoCompElasLim=50.0e6
IsoTensElasLim=0.1e6
MCCSlopeCSL=0.5
NLHIndex=1.0
mBigoCritCoef=10.0
aBigoCritCoef=0.75
IncompIndex=15.0
Tau=2.0e2
PerzynaExpo=2.0
NLHModulusP=7.0e9/2.5
NLHModulusV=0.01*7.0e9
```


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

2.5 Conditions initiales, conditions aux limites, et chargement

Phase 1 :

On amène l'échantillon à un état homogène : $\sigma^0_{xx}=\sigma^0_{yy}=\sigma^0_{zz}$, en imposant la pression de confinement correspondante sur les faces avant, latérale droite et supérieure. Les déplacements sont bloqués sur les faces arrière ($u_x=0$), latérale gauche ($u_y=0$) et inférieure ($u_z=0$).

Phase 2 :

On maintient les déplacements bloqués sur les faces arrière ($u_x=0$), latérale gauche ($u_y=0$) et inférieure ($u_z=0$), ainsi que la pression de confinement sur les faces avant et latérale droite. On applique un déplacement imposé sur la face supérieure : $u_z(t)$, de façon à obtenir une déformation $\varepsilon_{zz}=-6\,\%$ sur une durée de 6e3 secondes pour les modélisations A, B, C, F, G, H, I et J et une durée de 6e5 secondes pour les modélisations D, E, K et L.

Pour les modélisations I et J, une température croissante est imposée dans les phases 1 et 2 via le mot-clé facteur AFFE_VARC. On monte de 0°C à 50°C pendant la phase 1 et de 50°C à 100°C pendant la phase 2.

Pour la modélisation M, la déformation en fin d 'essai est cent fois supérieure à celle obtenue à la fin de la phase de confinement : -0.00028571428571428574* 100 .

3 Solutions de référence

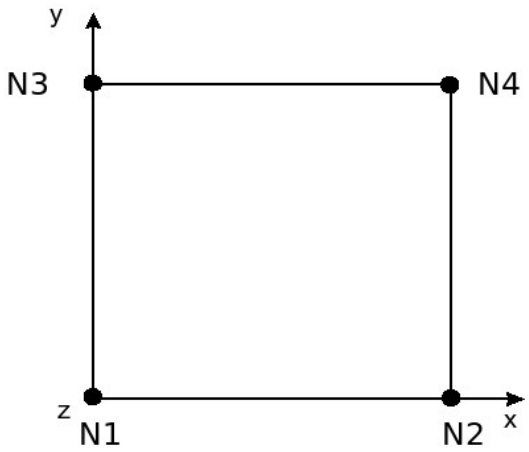
Les solutions de référence sont obtenues par discrétisation fine du chargement. Il n'existe pas a priori de solutions analytiques connues pour l'intégration des modèles LETK, LKR et KH_CSRM suivant un essai triaxial de compression.

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

4 Modélisation A

4.1 Caractéristique de la modélisation

AXIS :



Découpage : 1 en hauteur, 1 en largeur.

4.2 Caractéristique du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles et types : 1 QUAD4 et 4 SEG2

4.3 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs sont testées en non régression à une tolérance donnée de $0,1\%$.

Localisation	Instant	Contrainte (MPa)	Aster
Point $N4$	7000.	σ_{yy}	– 5.000
	13000.	σ_{yy}	– 11.941

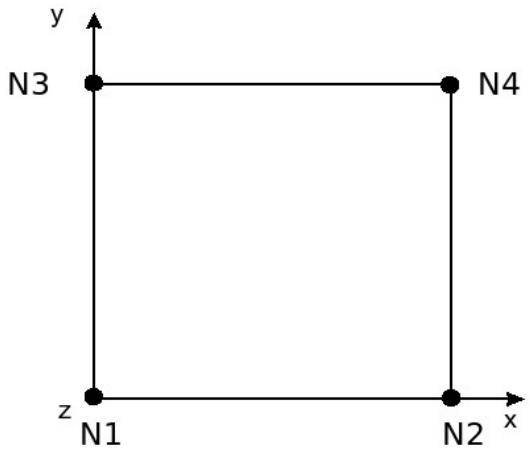
Localisation	Instant	Déplacement (m)	Aster
Point $N4$	7000.	DX	-7.6 10-4
	13000.	DX	3.020 10-2

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

5 Modélisation B

5.1 Caractéristique de la modélisation

AXIS :



Découpage : 1 en hauteur, 1 en largeur.

5.2 Caractéristique du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles et types : 1 QUAD4 et 4 SEG2

5.3 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs sont testées en non régression à une tolérance donnée de $0,1\%$.

Localisation	Instant	Contrainte (MPa)	Aster
Point $N4$	7000.	σ_{yy}	– 5.000
	13000.	σ_{yy}	– 11.945

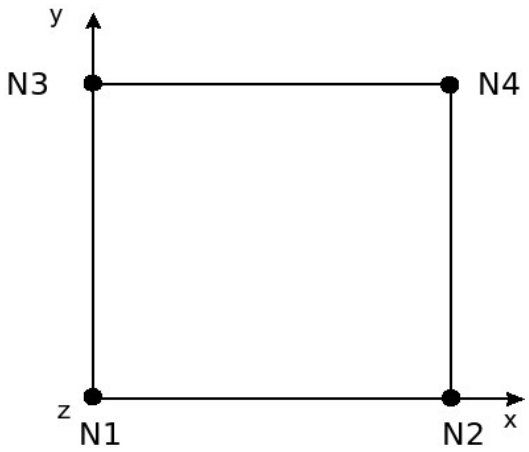
Localisation	Instant	Déplacement (m)	Aster
Point $N4$	7000.	DX	-7.6 10-4
	13000.	DX	3.026 10-2

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

6 Modélisation C

6.1 Caractéristique de la modélisation

AXIS :



Découpage : 1 en hauteur, 1 en largeur.

6.2 Caractéristique du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles et types : 1 QUAD4 et 4 SEG2

6.3 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs sont testées en non régression à une tolérance donnée de $0,1\%$.

Localisation	Instant	Contrainte (MPa)	Aster
Point $N4$	7000.	σ_{yy}	– 5.000
	13000.	σ_{yy}	– 11.945

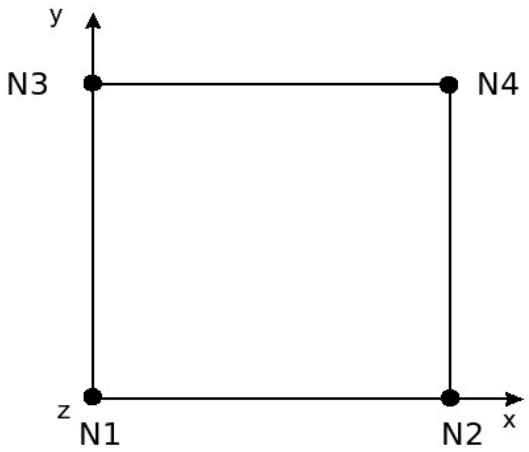
Localisation	Instant	Déplacement (m)	Aster
Point $N4$	7000.	DX	-7.6 10-4
	13000.	DX	3.026 10-2

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

7 Modélisation D

7.1 Caractéristique de la modélisation

AXIS :



Découpage : 1 en hauteur, 1 en largeur.

7.2 Caractéristique du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles et types : 1 QUAD4 et 4 SEG2

7.3 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs sont testées en non régression à une tolérance donnée de $0,1\%$.

Localisation	Instant	Contrainte (MPa)	Aster
Point $N4$	7000.	σ_{yy}	– 5.000
	13000.	σ_{yy}	– 12.01

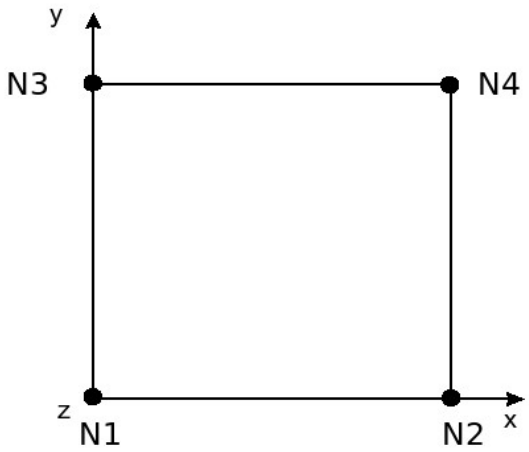
Localisation	Instant	Déplacement (m)	Aster
Point $N4$	7000.	DX	-7.6 10-4
	13000.	DX	2.98 10-2

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

8 Modélisation E

8.1 Caractéristique de la modélisation

AXIS :



Découpage : 1 en hauteur, 1 en largeur.

8.2 Caractéristique du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles et types : 1 QUAD4 et 4 SEG2

8.3 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs sont testées en non régression à une tolérance donnée de $0,1\%$.

Localisation	Instant	Contrainte (MPa)	Aster
Point $N4$	7000.	σ_{yy}	– 5.000
	13000.	σ_{yy}	– 12.01

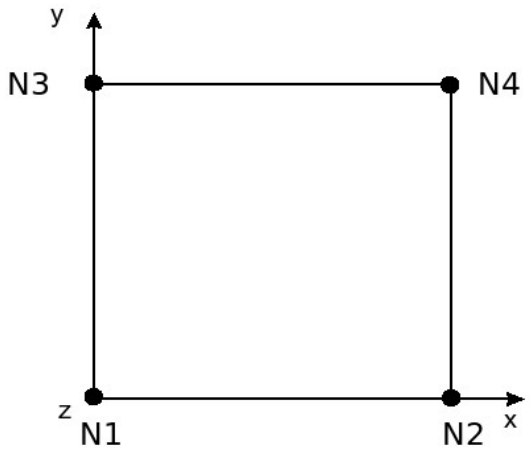
Localisation	Instant	Déplacement (m)	Aster
Point $N4$	7000.	DX	-7.6 10-4
	13000.	DX	3.00 10-2

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

9 Modélisation G

9.1 Caractéristique de la modélisation

AXIS :



Découpage : 1 en hauteur, 1 en largeur.

9.2 Caractéristique du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles et types : 1 QUAD4 et 4 SEG2

9.3 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs sont testées en non régression à une tolérance donnée de $0,1\%$.

Localisation	Instant	Contrainte (MPa)	Aster
Point $N4$	7000.	σ_{yy}	-4.752518691871259
	13000.	σ_{yy}	-12.409970590884392

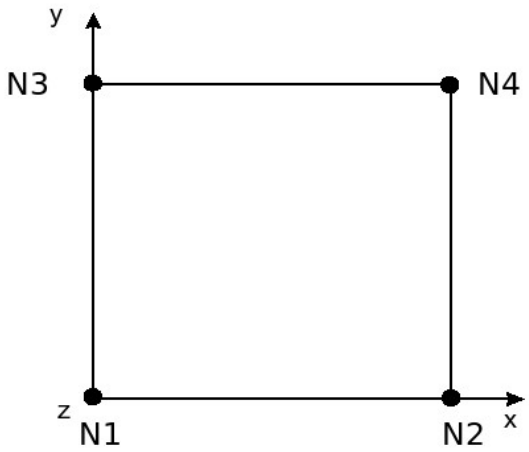
Localisation	Instant	Déplacement (m)	Aster
Point $N4$	7000.	DX	-0.00033946700835346937
	13000.	DX	0.04626461105602079

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

10 Modélisation H

10.1 Caractéristique de la modélisation

AXIS :



Découpage : 1 en hauteur, 1 en largeur.

10.2 Caractéristique du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles et types : 1 QUAD4 et 4 SEG2

10.3 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs sont testées en non régression à une tolérance donnée de $0,1\%$.

Localisation	Instant	Contrainte (MPa)	Aster
Point $N4$	7000.	σ_{yy}	-4.752518691871259
	13000.	σ_{yy}	-12.410063896236359

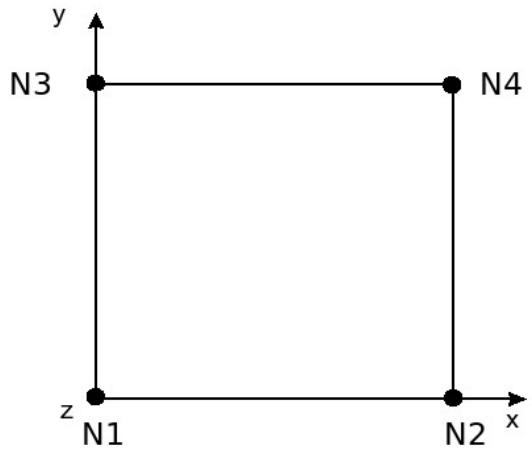
Localisation	Instant	Déplacement (m)	Aster
Point $N4$	7000.	DX	-0.00033946700835346937
	13000.	DX	0.04626465526479956

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

11 Modélisation J

11.1 Caractéristique de la modélisation

AXIS :



Découpage : 1 en hauteur, 1 en largeur.

11.2 Caractéristique du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles et types : 1 QUAD4 et 4 SEG2

11.3 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs sont testées en non régression à une tolérance donnée de $0,1\%$.

Localisation	Instant	Contrainte (MPa)	Aster
Point $N4$	7000.	σ_{yy}	-4.75251869187125
	13000.	σ_{yy}	-12.280379628382182

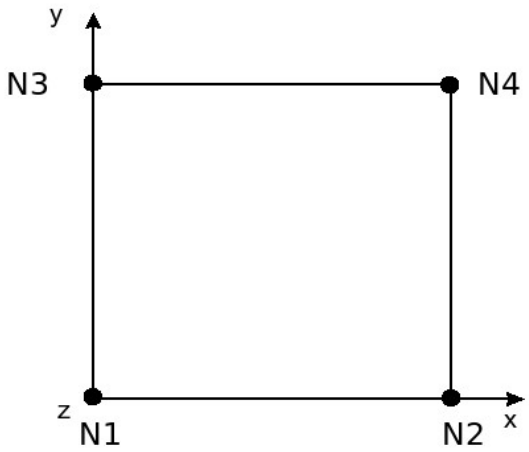
Localisation	Instant	Déplacement (m)	Aster
Point $N4$	7000.	DX	0.0001605329916465302
	13000.	DX	0.04784850852666824

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

12 Modélisation L

12.1 Caractéristique de la modélisation

AXIS :



Découpage : 1 en hauteur, 1 en largeur.

12.2 Caractéristique du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles et types : 1 QUAD4 et 4 SEG2

12.3 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs sont testées en non régression à une tolérance donnée de $0,1\%$.

Localisation	Instant	Contrainte (MPa)	Aster
Point $N4$	7000.	σ_{yy}	-4.752518691871259
	13000.	σ_{yy}	-12.498534522293422

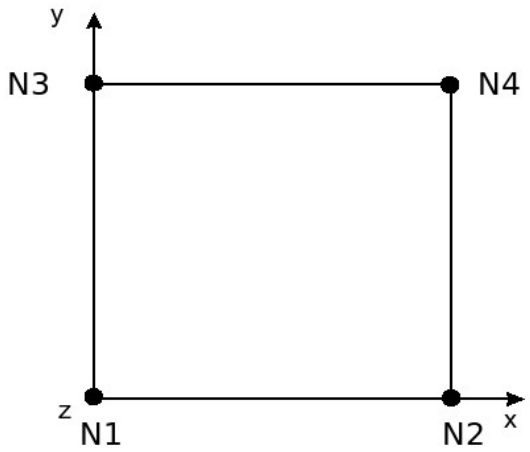
Localisation	Instant	Déplacement (m)	Aster
Point $N4$	7000.	DX	-0.00033946700835346937
	13000.	DX	0.045942300554413056

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

13 Modélisation M

13.1 Caractéristique de la modélisation

AXIS :



Découpage : 1 en hauteur, 1 en largeur.

13.2 Caractéristique du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles et types : 1 QUAD4 et 4 SEG2

13.3 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs sont testées en non régression à une tolérance donnée de $0,1\%$.

Localisation	Instant	Contrainte (Pa)	Aster
Point $N4$	7000.	σ_{yy}	-5000000.
	13000.	σ_{yy}	-25197120.854483284

Localisation	Instant	Déplacement (m)	Aster
Point $N4$	7000.	DY	-0.00028571428571428574
	13000.	DX	0.03126404395351442

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

14 Synthèse des résultats

Il s'agit de tests de non régression développés pour valider le modèle LETK en mécanique pure. La comparaison entre les deux schémas d'intégration permet d'identifier certaines tendances sur les profils de convergence.

Un schéma d'intégration explicite permet pour une discrétisation fine du chargement de garantir des résultats convergés et un temps d'exécution machine moindre que le schéma implicite. Il est en revanche difficile de quantifier le niveau de finesse du chargement à appliquer pour garantir la convergence des études avec un schéma d'intégration explicite.

Le schéma d'intégration implicite garantit un niveau de précision supérieur au schéma explicite pour la même discrétisation de chargement. Il permet également de disposer d'un opérateur tangent local consistent. Ces avantages assurent ainsi sur une large gamme de discrétisations du chargement une convergence sur les résultats obtenus avec le schéma implicite.

Les figures suivantes illustrent l'argumentaire précédent.

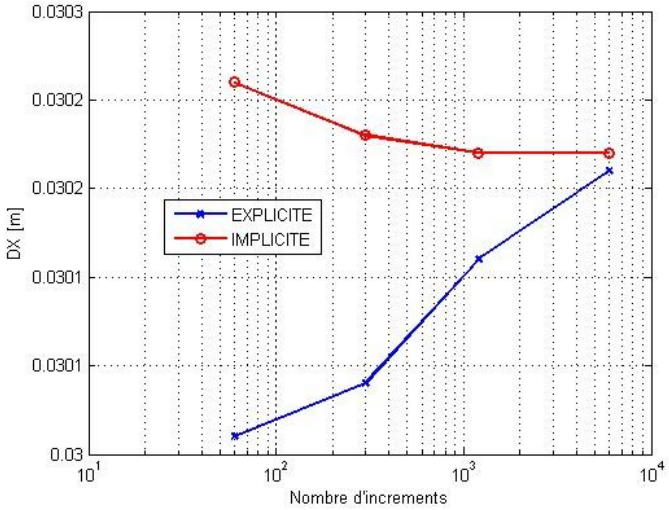


Illustration 1: Déplacement latéral maximal de l'échantillon de laboratoire au cours d'un essai triaxial de compression en fonction du niveau de discrétisation du chargement

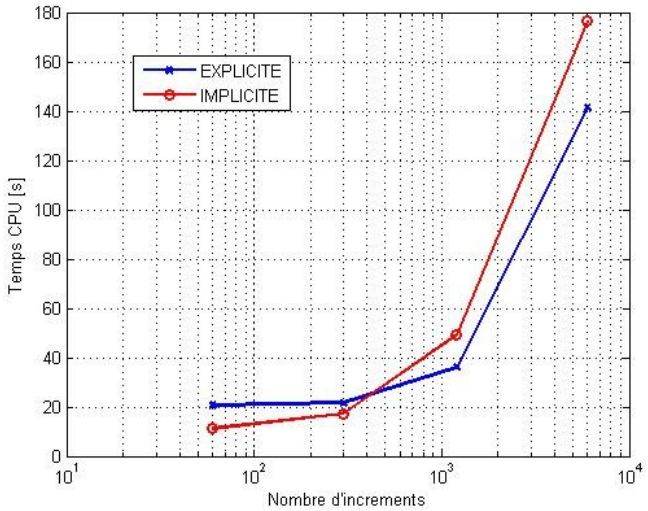


Illustration 2: Temps CPU cumulé pour l'éssai triaxial de compression en fonction du niveau de discrétisation du chargement

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

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