

**Interface Aster aux lois de comportements mécaniques dans mfront**  
T. Helfer  
2013

**RÉSUMÉ**

## SOMMAIRE

|     |  |   |
|-----|--|---|
| 0.1 | PROTOTYPE DES FONCTIONS GÉNÉRÉES PAR L'INTERFACE ASTER . . . . .                             | 3 |
| 0.2 | CONVENTIONS . . . . .  | 4 |
|     | 0.2.1 <i>Choix du type de calcul</i> . . . . .   | 4 |
|     | 0.2.2 <i>Valeur de retour</i> . . . . .  | 4 |
| 0.3 | GESTION DES BORNES . . . . .   | 5 |
| 0.4 | MOTS CLÉS SPÉCIFIQUES . . . . .  | 5 |
|     | 0.4.1 <i>Vérification de la matrice tangente calculée par perturbation</i> . . . . .         | 5 |
|     | 0.4.2 <i>Stockage de la matrice de raideur à la suite des variables internes</i> . . . . .   | 5 |
|     | 0.4.3 <i>Affichage des erreurs d'intégration</i> . . . . .                                   | 5 |
|     | 0.4.4 <i>Génération automatique d'un fichier <code>mtest</code> en cas d'échec</i> . . . . . | 6 |
|     | 0.4.5 <i>Choix d'une formulation grandes transformations</i> . . . . .                       | 6 |

Cette annexe décrit l'interface `Aster`.

## 0.1 PROTOTYPE DES FONCTIONS GÉNÉRÉES PAR L'INTERFACE ASTER

```

SUBROUTINE aster ( STRESS, STATEV, DDSDE
& STRAN, DSTRAN, DTIME,
& TEMP, DTEMP, PREDEF, DPRED,
& NTENS, NSTATV,
& PROPS, NPROPS,
& DROT, PNEWDT, NUMMOD,

```

**FIGURE 1 :** Prototype de la fonction `aster`.

|        |                     |  |
|--------|---------------------|--|
| STRESS | REAL*8(NTENS)       | tenseur des contraintes. En entrée, ce tableau donne le tenseur des contraintes à $t_0$ . En sortie, ce tableau doit contenir le tenseur des contraintes à $t_0 + \Delta t$  |
| STATEV | REAL*8(*)           | variables internes. En entrée, ce tableau contient les variables internes à $t_0$ . En sortie, il doit contenir les variables internes à $t_0 + \Delta t$                    |
| DDSDE  | REAL*8(NTENS,NTENS) | matrice jacobienne du modèle (matrice de Hooke tangente) à $t_0 + \Delta t$ .  |
| STRAN  | REAL*8(NTENS)       | tenseur des déformations totales à $t_0$   |
| DSTRAN | REAL*8(NTENS)       | tenseur des incréments de déformation totale par rapport à l'état de référence à $t_0$   |
| DTIME  | REAL*8              | DTIME = $\Delta t$ est l'incrément de temps  |
| TEMP   | REAL*8              | température à $t_0$  |
| DTEMP  | REAL*8              | incrément de température à $t_0 + \Delta t$  |
| PREDEF | REAL*8(*)           | vecteur des paramètres externes de la loi de comportement, valeurs à $t_0$   |
| DPRED  | REAL*8(*)           | incréments des paramètres externes à $t_0 + \Delta t$  |
| NTENS  | INTEGER             | nombre de composantes du tenseur des contraintes   |
| NSTATV | INTEGER             | nombre de variables internes   |
| PROPS  | REAL*8(NPROPS)      | vecteur des propriétés du matériau.  |
| NPROPS | INTEGER             | nombre de propriétés du matériau   |
| DROT   | REAL*8(3,3)         | matrice d'incrément de rotation. Cette matrice décrit la rotation sur le pas de temps de la base dans laquelle sont exprimés les tenseurs de contraintes et de déformations. |
| PNEWDT | REAL*8              | rapport entre le nouveau pas de temps suggéré et le pas de temps donné en entrée   |
| NUMMOD | INTEGER             | hypothèse de modélisation : 3 pour le 3D, 4 pour l'axisymétrique, 5 pour les contraintes planes et 6 pour les déformation planes.  |

**TABLEAU 1 :** Arguments de la fonction `aster`

Le type entier `INTEGER` dépend de la plateforme : `Aster` utilise des directives de compilation spécifique pour que ce type soit de la taille d'un pointeur.

En C++, nous noterons `AsterReal` le type numérique utilisé par `Aster` et `AsterInt` le type entier.

## 0.2 CONVENTIONS

### 0.2.1 Choix du type de calcul

Le premier élément du tableau `DDSOE` permet de préciser le type de calcul à effectuer et le type de matrice de raideur attendue.

Une valeur strictement négative correspond à un calcul d'une matrice de prédiction. Dans ce cas, il n'y a pas d'intégration de la loi de comportement. Les valeurs supportées sont :

- -1, qui correspond au calcul de la matrice d'élasticité initiale (non endommagée) ;
- -2, qui correspond au calcul de la matrice sécante (matrice d'élasticité endommagée) ;
- -3, qui correspond au calcul de la matrice tangente.

Une valeur positive ou nulle du premier élément du tableau `DDSOE` conduit à l'intégration de la loi de comportement sur le pas de temps. Si cette intégration s'effectue avec succès, une matrice de raideur peut être calculée. Le type de matrice calculée dépend de la valeur du premier élément du tableau `DDSOE` :

- 1, correspond au calcul de la matrice d'élasticité initiale (non endommagée) ;
- 2, correspond au calcul de la matrice sécante (matrice d'élasticité endommagée) ;
- 3, correspond au calcul de la matrice tangente ;
- 4, correspond au calcul de la matrice tangente cohérente ;

### 0.2.2 Valeur de retour

La loi de comportement a rencontré une erreur grave si la valeur de `PNEWDT` est inférieure à 0. Différents cas peuvent se présenter :

- l'intégration n'a pas convergé ;
- le nombre de valeurs transmises pour les variables internes ou les propriétés matériau n'est pas celui attendu ;
- une borne physique a été atteinte ;
- etc...

Plus précisément, nous avons les correspondances suivantes :

- -2 : exception de type `AsterException`. Cette exception est lancée par l'interface `Aster` à la loi de comportement. Elle peut signifier de nombreuses choses : par exemple, elle est lancée quand le nombre de propriétés matériau n'est pas celui attendu,
- -3 : exception de type `OutOfBoundsException`. Cette exception est lancée quand :
  - une variable est hors des bornes physiques ;
  - une variable est hors des bornes de corrélation de la loi et que la politique de dépassement des bornes est égale à 'ARRET (voir paragraphe 0.3).
- -4 : exception de type `DivergenceException`. Cette exception est lancée quand l'algorithme d'intégration de la loi a échoué.
- -5 : exception de type `MaterialException`. Il s'agit d'une exception issue d'une fonction de la librairie `TFEL/Material`.
- -6 : exception de type `TFELException`. Il s'agit du plus haut niveau dans la hiérarchie des exceptions de `TFEL`.
- -7 : exception de type `exception`. Il s'agit d'une exception de la librairie standard.
- -8 : exception de type inconnu.

Par défaut, un message d'erreur est affiché quand une exception est captée. Ce comportement est modifiable à l'aide du mot clé `@AsterErrorReport`, décrit au paragraphe 0.4.3.

## 0.3 GESTION DES BORNES

`Aster` permet à l'utilisateur de choisir le comportement à adopter en cas de dépassement des bornes de la corrélation à l'aide du mot-clé `VERI_BORNE`.

Ce mot clé a trois options :

- `SANS` ignore les dépassements de borne ;
- `MESSAGE` affiche un message d'avertissement ;
- `ARRET` provoque une erreur lors de l'intégration.

## 0.4 MOTS CLÉS SPÉCIFIQUES

### 0.4.1 Vérification de la matrice tangente calculée par perturbation

L'interface `Aster` propose de vérifier la matrice tangente calculée par comparaison à une matrice tangente obtenue par perturbation.

Le mot clé `@AsterCompareToNumericalTangentOperator` qui doit être suivi d'une valeur booléenne `true` ou `false` demande à ce que cette comparaison soit effectuée (ou pas).

La matrice tangente numérique est obtenue par différences finies centrées. Le valeur de la perturbation utilisée pour ce calcul peut être spécifié par le mot clé `@AsterStrainPerturbationValue` qui est suivi par la valeur à utiliser. Par défaut, cette perturbation est prise égale à  $10^{-6}$ .

La comparaison entre la matrice jacobienne  $\frac{\partial \Delta \sigma}{\partial \Delta \underline{\epsilon}^{to}}$  et son approximation numérique  $\frac{\partial \Delta \sigma}{\partial \Delta \underline{\epsilon}^{to \sim}}$  est faite terme à terme et l'on retient comme erreur :

$$\varepsilon = \max_{i,j} \left| \frac{\partial \Delta \sigma}{\partial \Delta \underline{\epsilon}^{to}}(i,j) - \frac{\partial \Delta \sigma}{\partial \Delta \underline{\epsilon}^{to \sim}}(i,j) \right|$$

Cette erreur est comparée à un critère que l'utilisateur peut définir par le mot clé `@AsterTangentOperator-ComparisonCriterium`. La valeur par défaut de ce critère est de  $10^7$ .

Si l'erreur est supérieure au critère, la valeur de l'erreur, un pourcentage relatif de l'erreur<sup>1</sup>, la jacobienne calculée par l'utilisateur et son approximation numérique sont affichés.

### 0.4.2 Stockage de la matrice de raideur à la suite des variables internes

Le mot clé `@AsterSaveTangentOperator` qui doit être suivi d'une valeur booléenne `true` ou `false` demande à ce que la matrice de raideur soit stockée à la suite des variables internes (ou pas).

### 0.4.3 Affichage des erreurs d'intégration

Par défaut, `mfront` affiche sur la sortie standard des messages en cas d'erreur d'intégration.

1. Ce pourcentage relatif de l'erreur est calculé ainsi :

$$\frac{100 \varepsilon}{2 \max \left( \max_{i,j} \left| \frac{\partial \Delta \sigma}{\partial \Delta \underline{\epsilon}^{to}}(i,j) \right|, \max_{i,j} \left| \frac{\partial \Delta \sigma}{\partial \Delta \underline{\epsilon}^{to \sim}}(i,j) \right| \right)}$$

Le mot clé `@AsterErrorReport`, qui doit être suivi d'une valeur booléenne `true` ou `false`, permet de modifier ce comportement.

#### 0.4.4 Génération automatique d'un fichier `mtest` en cas d'échec

Le mot clé `@AsterGenerateMTestFileOnFailure` est suivi d'une valeur booléenne. Si cette valeur est vraie, un fichier `mtest` sera généré automatiquement en cas d'échec de l'intégration.

#### 0.4.5 Choix d'une formulation grandes transformations

Pour les lois en grandes transformations, le mot clé `@AsterFiniteStrainFormulation` permet de sélectionner une des formulations grandes transformations disponibles dans `Aster`.

Ce mot clé est suivi d'une des valeurs suivantes :

- `SIMO_MIEHE` (le défaut). Dans ce cas, la loi devra être déclarée avec le mot clé `DEFORMATION=SIMO_MIEHE` dans les opérateurs mécaniques.
- `GROT_GDEP` ou `TotalLagrangian`. Dans ce cas, la loi devra être déclarée avec le mot clé `DEFORMATION=GROT_GD` dans les opérateurs mécaniques.