



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

# Nouveautés dans Cast3M

depuis le club Cast3M 2019

27 novembre 2020

Matthieu Breuzé, François Di Paola, Benoit Prabel

## ► Généralités

- **Extension** des modèles de **fluage** pour les **modèles de section** (poutres à fibres)  
Norton, Blackburn, Lemaitre, Polynomial
- **Dilatation thermique** (modèles mécaniques) : **nouvelles composantes**  
**'TREF'** et **'TALP'** obligatoires lors d'un chargement thermique  
remplacent les indices de **PASAPAS**  
TAB1 . 'TEMPERATURE\_REFERENCE'  
TAB1 . 'TALPHA\_REFERENCE'
- Les **modèles de MELANGE** sont utilisables dans **PASAPAS**  
Développement toujours en cours ...
- **MATE** : **vérification** que l'utilisateur fournit bien une **courbe d'écrouissage**  
(et non une courbe de traction) derrière le nom de composante **'ECRO'**

## ► Généralités

- **CHAR, TIRE, PASAPAS** : nouveaux chargements de nom 'MAIL', 'MODE', 'MATE' ou 'RIGI'  
Représentent un maillage, un modèle (et ses caractéristiques) ou une rigidité qui évoluent au cours du calcul  
Sera instancié à chaque instant par **PASAPAS** avec **TIRE**  
Gestion des reprises de calcul

## ► Contact / frottement

### Nouvelle syntaxe !

*Avant :*

```
MAIL1 = IMPO 'MAIL' ('SYME'/'MESC'/'FAIB') MA1 MA2 ;  
MOD1  = MODE MAIL1 'CONTACT' ('FROTTANT' 'COULOMB'/'FROCABLE') ;
```

*Aujourd'hui :*

```
MOD1  = MODE MA1 'CONTACT' ('FROTTANT' 'COULOMB'/'FROCABLE')  
      MA2 ('SYME'/'MESC'/'FAIB') ;
```

- La syntaxe **IMPO 'MAIL'** sera débranchée !
- En 3D : ajout d'un zonage pour détecter plus rapidement les zones candidates au contact

► Calcul des déformations **EPSI**

Changement de l'hypothèse par défaut !

1) Suppression de **OPTI** 'EPSI' | 'LINEAIRE' | ;  
| 'QUADRATIQUE' |

2) L'opérateur **EPSI** utilise le mot clef fourni, par défaut 'LINEAIRE'

Exemple :

EPS1 = **EPSI** MOD1 DEPL1 | ('LINEAIRE' ) | ;  
| 'QUADRATIQUE' |

3) Nouveau mot clef dans **PASAPAS** :

TAB1 . 'HYPOTHESE\_DEFORMATION' = | 'LINEAIRE' | ;  
| 'QUADRATIQUE' |

4) Dans le cas des 'GRANDS\_DEPLACEMENTS'

→ utilisation automatique de 'HYPOTHESE\_DEFORMATION' = 'QUADRATIQUE'

► RESO / PASAPAS

- **UNILATER / RESO** : désormais **compatible avec le solveur itératif**
- **Amélioration des performances** dans l'élimination des inconnues
- **PASAPAS** : prise en compte de la RIGIDITE\_AUGMENTEE en non-automatique disponible avec TAB1 . 'STABILITE' = VRAI
- **RESO** : **nouveau mot clef 'SOUCI'**  
Possibilité d'utiliser les **soucis** (plutôt que des erreurs) si problème mal posé au mal conditionné

*Exemple : prise en compte dans PASAPAS pour stratégie alternatives*

```
U = RESO K F 'SOUCI' ;  
FLAGSOUCI = SOUCI ;  
SOUCI 0 ;  
SI FLAGSOUCI ;  
...  
FINSI ;
```

## ► RESO / PASAPAS

- **PASAPAS** : nouvelle méthode de « path-following » (pilotage indirect du chargement)
  - TAB1 . 'PILOTAGE\_INDIRECT' = VRAI/FAUX ;
  - TAB1 . 'DEPLACEMENTS\_PILOTES' = CHPOINT ;
  - TAB1 . 'FORCES\_PILOTEES' = CHPOINT ;
  - TAB1 . 'PARAMETRE\_DE\_PILOTAGE' = EVOLUTION ;

La manière de calculer le paramètre de pilotage à chaque pas de temps peut être exprimée dans la procédure **PILOINDI** (une version initiale existe basée sur la déformation totale)

- Affichage limité à un seul message lorsqu'il y a des NaN dans la résolution
- Meilleure détection de la limite mémoire dans le cas d'une résolution directe

## ► RESO / PASAPAS

- **PASAPAS** : modifications dans l'indice 'WTABLE'

### nouveaux indices

'WTABLE' . 'MODELE'

'WTABLE' . 'CARACTERISTIQUES'

### suppression des indices

'MO\_TOTAL'

'MA\_TOTAL'

- **PASAPAS** : nouvelle procédure **PAS\_MODL** (appelée par **PAS\_DEFA**, **UNPAS**, **TRANSNON**)

Si 'WTABLE' . 'MODELE' change au cours du calcul

Alors → met à jour tous les indices ad hoc de 'WTABLE'

- **PASAPAS** : possibilité d'utiliser indépendamment les indices

**AUGMENTATION\_AUTOMATIQUE** et **RIGIDITE\_AUGMENTEE**

- Si les deux sont donnés, la matrice de **RIGIDITE\_AUGMENTEE** sert également d'augmentation résiduelle si il n'y a pas besoin d'augmentation automatique
- Si seul **AUGMENTATION\_AUTOMATIQUE** est indiqué, la **RIGIDITE\_AUGMENTEE** est déterminée automatiquement et il n'y a pas d'augmentation résiduelle
- Si il n'y a que **RIGIDITE\_AUGMENTEE**, elle est appliquée systématiquement

## ► Généralités

- XFEM 'RECO' fonctionne sur des maillages différents du CHPOINT support

## ► G\_THETA

- Ré-écriture de **G\_THETA** avec 2 nouvelles procédures :  
**G\_AUX** détermine les champs auxiliaires pour les facteurs d'intensité de contrainte  
**G\_CAS** détermine les opérations à effectuer par **G\_THETA**
- Nouveaux cas-tests : intégrale C\* en fluage  
g\_c\_etoile\_3D\_1.dgibi  
g\_c\_etoile\_coque\_1.dgibi  
g\_c\_etoile\_axis\_1.dgibi
- Nouveau cas-test : taux de restitution d'énergie G avec chargement thermique pour les éléments coques  
g\_thermique\_coque\_1.dgibi

## ► Généralités

- **DYNE** : possibilité de calculer des **efforts non-linéaires** de la forme  $F_i = \text{coeff} \times \cos(Q_j)$   
où  $Q_j$  est le ddl du mode  $j$   
et  $F_i$  la force modale du mode  $i$
- **DYNE** : **prise en compte du contact sur surfaces mobiles**  
contre un plan en translation constante (tapis roulant)  
contre un cercle en rotation constante (rotor/stator)
- **Nouvel opérateur DYNC** :  
calcul de courbes de réponse de systèmes dynamique non-linéaire par des méthodes de type  
HBM + continuation  
calcul des modes non-linéaires

## ► Soudage

- **COOR** Nouvelle syntaxe :  $\text{CHP01} = \text{COOR 'CURV' LIG1 ;}$   
calcul un **CHPOINT** d'abscisse curviligne  $S(X)$  des nœuds  $X$  d'un maillage constitué de SEG2 LIG1  $\rightarrow S(X)$
- **IPOL** Nouvelle syntaxe :  $\text{POIN1} = \text{IPOL CHP01 FLOT1 ;}$   
interpolation d'un **POINT** le long d'une ligne d'après son **CHPOINT** d'abscisse curviligne  $S(X)$   $S(X) ; S0 \rightarrow X$  tel que  $S(X) = S0$
- **CHAR** Nouvelle option :  $\text{CHAR1} = \text{CHAR 'TRAJ' CHP01 EVOL1 ;}$   
Les **CHARGEMENTS** de nom **'TRAJ'** contiennent  
un champ d'abscisse curviligne  $S(X)$   
une évolution temporelle de l'abscisse curviligne  $S(t)$   
 $\rightarrow$  L'opérateur **TIRE** fournira alors le **POINT**  $X(t)$
- **MODE** Nouveaux modèles de sources de chaleur utilisant un **CHARGEMENT** de type **'TRAJ'** ectoire
- Exemples d'application : torche de soudage  
[waam1.dgibi](#)  
[waam2.dgibi](#)

## ► Soudage

- **Nouveau cas-test** : soudage avec prise en compte d'un changement de phase [soudage5.dgibi](#)
- **Nouvelles procédures**
  - SOUDAGE** : permet de **définir une séquence de soudage** (vitesse de soudage, puissance, débit de fil) ainsi que des **points** de soudure (option 'POINT')
  - des **passes** de soudage (option 'PASSE')
  - des **déplacements** de l'outils (option 'DEPLA')
- WAAM** : permet de **mailler une séquence de soudage** (option 'MAIL')
- visualiser le séquençage** d'apport de matière réalisé (option 'VISU')

## ► Thermique

- **Modèle thermiques de 'CONDUCTION' : nouveau paramètre**  
**'TINI'** (température initiale) → à renseigner avec l'opérateur **MATE**
- **Modèle thermiques de 'CONVECTION' : nouveau paramètre**  
**'TE'** (température extérieure) → à renseigner avec l'opérateur **MATE**

## ► Changement de phase

- **MODE** : **nouveau mot clef 'FUSION'** pour les modèles mécaniques non linéaires  
Prise en compte la fusion du matériau dans l'intégration du comportement avec **COMP**  
(déformations inélastiques et variables internes mises à 0 pour  $T > T_{\text{fusion}}$ )

► Procédures @US\*

- Nouvelles possibilités :

Utilisation des formulations 'MESC' 'FAIB' et 'SYME' du contact

Traitement de l'usure bilatérale

Re-calcul des pas de temps en fin de cycle si nécessaire

## ► Généralités

- Correction de plusieurs anomalies lors d'un couplage implicite de la thermique paroi avec la mécanique des fluides :
  - Flux de chaleur pas continu à l'interface fluide/structure
  - Erreur lorsque le fluide ne contient pas de vapeur (problème de support de champ)
  - Le flux en paroi est calculé différemment suivant la présence ou non de vapeur. Les résultats obtenus pour les mélanges air / air + (vapeur = 0) diffèrent
- **EXECRXT** : nouveau test pour ne tracer le débit de condensation en paroi qu'en présence de vapeur
- **EXECRXT** : Ajout des indices Hj et Ej à la table des brèches. Ces indices correspondent respectivement à l'enthalpie à l'injection et à l'énergie à l'injection
- **CLINC** : prise en compte des re-combinaisons catalytiques

## ► TRAC / DESS

- Nouvel objet **ANNOTATION** pour ajouter des indications dans **TRAC**  
 → Nouvel opérateur **ANNO** → Objet utilisable dans **TRAC**

Exemple :

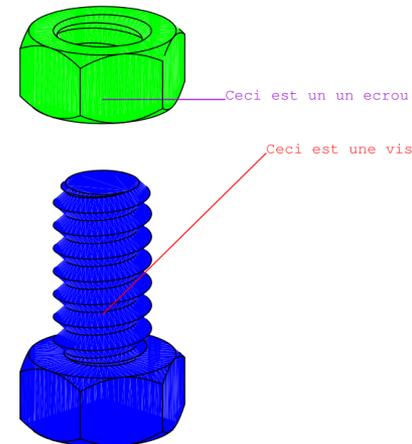
```
leg1 = ANNO 'CATE' 'BLEU' 'La vis' ;
```

```
leg2 = ANNO 'CATE' 'VERT' 'L''ecrou' ;
```

```
eti1 = ANNO 'ETIQ' (0. 0. 50.) 'ROUG' 'NE' 100. VRAI 'Ceci est une vis' ;
```

```
eti2 = ANNO 'ETIQ' (0. 0. 150.) 'VIOL' 'E' 75. VRAI 'Ceci est un un ecrou' ;
```

```
TRAC mail (leg1 ET eti1 ET leg2 ET eti2) ;
```



→ Nouveau cas test : [trac\\_anno.dgibi](#)

## ► TRAC / DESS

- **DESS** : légende sur 72 caractères (au lieu de 20)
- **Amélioration de l’affichage** du menu de positionnement de la **coupe**
- **EXPLORER** avec une base modale, **nouvelles options** :
  - 'FICHER\_VTK' : nom de fichier pour sortie VTK
  - 'MAILLAGE\_2' : maillage supplémentaire à tracer
  - 'MAILLAGE\_VECTEUR' : pour y tracer le vecteur déplacement
- **COUL** : **nouvelle syntaxe** avec un numéro  
OBJ2 = OBJ1 **COUL** ENT1 ;
- **Nouvelle procédure @PALETTE** : créé une palette de noms de couleurs  
*Exemple :*  
LCOUL = **@PALETTE** (DIME EVOL1) ;  
EVOL1 = EVOL1 **COUL** LCOUL ;  
**DESS** EVOL1 ;

**► LIRE / SORT**

- **LIRE 'STL'** : modification du test qui détermine s'il s'agit d'un fichier binaire ou ASCII
- **SORT 'EXCE'** et **EVOL** avec des objets **EVOLUTIONs** :  
L'affichage des noms n'est plus limité à 4 caractères (LONOM = 24)
- **LIRE/SORT 'MED'** : implémentation de la librairie MED 4.1.0  
Idem que Salomé version 9.5.0
- **SORT 'MED'**  
On ne sort plus les composantes 'LX' et 'FLX' des **CHPOINTS**  
Ajout de la sortie de TABLEs autres que PASAPAS
- **LIRE 'CSV'**  
Lecture en **ligne et en colonnes**  
**Séparateur décimal** « . » ou « , »

## ► Messages et Chaines de caractères

- **CHAI** : nouvelles tabulations (relatives)

*Exemple :*

```
CHAI 'ABC' 'DEF'*10 ; ---> "ABC....DEF"      (gauche/absolu)
CHAI 'ABC' 'DEF'/10 ; ---> "ABC.....DEF"      (droite/absolu)
CHAI 'ABC' 'DEF'<10 ; ---> "ABC.....DEF"      (gauche/relatif)
CHAI 'ABC' 'DEF'>10 ; ---> "ABC.....DEF"      (droite/relatif)
```

- **ERRE** avec un message : chaine de **120 caractères** (au lieu de 40)
- **REMP** : permet désormais de remplacer un motif dans une chaine de caractères

## ► Généralités

- Nouveaux cas tests : exemples d'utilisation de **super-élément en thermique**  
[super3.dgibi](#)  
[super4.dgibi](#)
- Nouveau cas test : exemple de **flux de matière** induit par gradient d'énergie mécanique élastique  
[diffusion\\_sous\\_contraintes\\_01.dgibi](#)

## ► Nouveaux documents

- Formation « développeur »  
[http://www-cast3m.cea.fr/html/formations/Formation DEVELOPPER dans Cast3M.pdf](http://www-cast3m.cea.fr/html/formations/Formation_DEVELOPPER_dans_Cast3M.pdf)
- Élément de théorie : statique  
[http://www-cast3m.cea.fr/html/Documentation Cast3M/mecanique.pdf](http://www-cast3m.cea.fr/html/Documentation_Cast3M/mecanique.pdf)

cea
CRÉER UN NOUVEL OPÉRATEUR

Ajout de l'appel à la nouvelle SUBROUTINE dans `pilot.eso`

**Attention** : Le nom de la SUBROUTINE doit idéalement correspondre à l'opérateur  
 Nom retenu : `stati.eso`  
 Arguments : aucun → ils seront lus dans `stati.eso`

```

C Ajout de l'appel au nouvel opérateur 'STAT' entre 'SUIT' et 'VALP'
260 CALL SUITE
GOTO 1

261 CONTINUE
G ANCIEN-APPEL-A-L'OPERATEUR
261 CALL STATI
GOTO 1

262 CALL VALPRO
GOTO 1
  
```

2 lignes à effacer  
2 lignes à ajouter

### 4.7. OPÉRATEURS DE CAST3M ASSOCIÉS

**Algorithme de minimisation du résidu (1)**

$$(U_1, \lambda_1) = (U_0, \lambda_0)$$

$$(\sigma_1, e_1^p, v_1) = (\sigma_0, e_0^p, v_0)$$

$$F_1^e = -A^T \lambda_1$$

$$F_1^{tot} = F_1^e + F_1^v + F_1^p$$

**tant que**  $\|R_1\| \geq \zeta F_1^{tot}$

**(S&M),  $\lambda_2$ ) = résoudre (4.4)**

$$U_2 = U_1 + \delta M U_1$$

$$e_2 = D(U_2)$$

$$(\sigma_2, e_2^p, v_2) = \text{intégrer } C(e_2, e_2^p, v_2, p_1)$$

$$F_2^e = -A^T \lambda_2$$

$$R_1 = F_1^e + F_1^v + F_2^e - B \cdot \sigma_1$$

**fin**

FIGURE 4.1 – Algorithme de résolution de l'équilibre par minimisation du résidu.

L'opération d'intégration du comportement assure que le résultat  $(\sigma_1, e_1^p, v_1)$  satisfaisait les relations de comportement pour une déformation totale  $e_1$  mais, généralement, que de manière approchée. Dans ce cas, il est souhaitable que la précision adoptée pour intégrer le comportement soit meilleure que celle utilisée pour vérifier l'équilibre des efforts ( $\zeta$ ) afin d'assurer la stabilité de l'algorithme présenté.

Par ailleurs, il faut également remarquer que, même si l'équilibre des efforts est atteint, rien ne garantit la stabilisation des déformations inélastiques ou des paramètres internes de la loi de comportement d'un itéré sur l'autre de l'algorithme, par exemple que :  $\|e_1^{in} - e_2^{in}\| < \zeta$ . Dans le cas de calculs de fluage, où l'écoulement viscoplastique se produit à effort constant, l'équilibre des efforts peut être atteint sans que le matériau ait terminé de s'écouler. L'ajout d'un critère supplémentaire, vérifiant la stabilisation de la déformation inélastique, est alors indispensable pour garantir la convergence de cet algorithme vers la solution au problème posé.

## ► Généralités

- **\*\*** (puissance) : nouveaux types d'arguments       $RESU1 = OBJET1 \ \mathbf{**} \ OBJET2 \ ;$

ENTIER      **\*\*** LISTENTI      → LISTENTI

FLOTTANT      **\*\*** LISTENTI      → LISTREEL

LISTREEL1      **\*\*** LISTREEL2      → LISTREEL3

(1. 2.)      **\*\*** (3. 4.)      (1. 16.)

LISTREEL1      **\*\*** LISTENTI      → LISTREEL2

(1. 2.)      **\*\*** (3 4 )      (1. 16.)

LISTENTI      **\*\*** LISTREEL1      → LISTREEL2

(1 2 )      **\*\*** (3. 4.)      (1. 16.)

LISTENTI1      **\*\*** LISTENTI2      → LISTENTI3

(1 2 )      **\*\*** (3 4 )      (1 16 )

- **PROG** : nouveau mot clef 'GEOM'  
pour définir une suite géométrique avec sa raison

*Exemple :*

LREE1 = **PROG** RE1 'PAS' VALPAS 'GEOM' RAISON RE2 ;

## ► Généralités

- Objets **CHPOINT**, **MCHAML** et **LISTMOT** : uniformisation de la taille des noms de composantes  
→ fixée à 8
- **PVEC** : étendu aux **MCHAMLs** (comme **PSCA**)
- **DIFF / INTE** : extension aux objets **MMODEL**
- **RAFF** : pour les **LISTREEL** en donnant une **taille d'intervalle cible**
- **POINTCYL / POINTSPH** : lecture de **LISTREEL** pour créer des **MAILLAGEs** de points
- **INDI** : nouveaux indicateurs pour les éléments **TRI3/TET4**
  - 'ASPE' rapport d'aspect
  - 'SKEW' pointicité (skewness)
- **Nouvel opérateur MIXE** : pour les modèles mélange  
Calcule les propriétés physiques homogénéisés d'un mélange de plusieurs phases

## ► Généralités

- **TEMP** 'IMPR' 'SOMM' nouveau fonctionnement

## ► Améliorations des performances

- Parallélisation de **CHAN** 'CHAM' CHP01
- Les dernières transformations **CHPOINT** → **MCHAML** sont gardées en mémoire pour éviter de refaire le travail lorsque c'est possible (pré-conditionnement de l'opération **CHAN** 'CHPO')
- Modification du critère de parallélisation pour **PASAPAS**
- Améliorations diverses gestion mémoire/threads

## ► Généralités

- **COLLER1** : les mêmes inconnues apparaissent plusieurs fois dans la relation  
→ erreur « inconnue ... en double au nœud ... dans une relation »
- **@POINTIR** : plantage si on utilise une loi 'UNIF' orme
- **Opérateur -** (soustraction) entre MCHAMs :  
erreur composantes non présentes dans les 2 champs
- **KENT** : matrice de rigidité erronée pour les éléments COQ8 (RX, RY, RZ)
- **ELEM** : plantage dans `LIG2 = LIG1 ELEM 'CONTENANT' PT1 'TOUS' ;`  
si le point PT1 est absent de LIG1
- **REST** : restitution impossible de certains modèles 'NON\_LINEAIRE' 'UTILISATEUR'
- **CHAN 'INCO'** RIG1 : correction de la symétrie

## ► Généralités

- **REAC** : gestion des objets vides
- **POIN** : lecture de la densité désormais possible, nouveau mot clef '**DENS**'  
PT1 = **POIN** X Y Z '**DENS**' 0.42 ;
- **TRANSNON** : erreur si calcul couplé thermo-mécanique avec propriétés thermiques constantes propriétés mécaniques variables
- **CERC** : coquille en 3D avec le mot-clé '**ROTA**' (NaN constaté dans la densité)

## ► Post-traitement

- **TRAC** : tracé des supports d'une rigidité (constitué d'éléments de type MULT)
- **EXPLORER** : désormais utilisable avec des modèles qui évoluent au cours d'un calcul
  - utilisation de chargement de nom 'MODE'
  - pour les calculs thermomécaniques, elle post-traite également le champ de températures en interactif
- **DESS** : le titre affiché dans la fenêtre correspondait à celui de l'EVOLUTION et non celui après le mot-clé 'TITR'

## ► G\_THETA

- **Correction du calcul de G avec chargement thermique**

La contribution thermique  $\mathbf{Grad}(\varepsilon^{th})$  est calculée comme dans **PASAPAS** :

$$\text{eps\_th}(T) = (\alpha(T) * (T - \text{TALP})) - (\alpha(\text{TREF}) * (\text{TREF} - \text{TALP}))$$



**Merci de votre attention**