

CAST3M - Implantation d'une nouvelle loi d'évolution
/ loi de comportement mécanique

SEMT/LM2S
J. Kichenin et T. Charras

22 septembre 2003

Table des matières

1	Préambule	2
2	Introduction	3
3	Phase 1 - Définition d'un nouveau modèle de matériau	5
3.1	Variantes 2 et 3	5
3.2	Variante 1	6
3.3	Sous-programmes à modifier	8
4	Phase 2 - Champs relatifs — caractéristiques du matériau	11
4.1	Opérateur VARI	11
4.2	Sous-programmes utilitaires	12
4.3	Variables internes	12
4.4	Caractéristiques	14
5	Phase 3 - Calcul incrémental, opérateur COMP	18
5.1	Présentation	18
5.2	Organigramme	20
5.3	Développement	26
6	Sous-programmes principaux de COML6.ESO	29
7	Conclusion	32
8	Bibliographie	33
9	ANNEXE	34
9.1	Phase 1 : Déclaration d'un modèle mécanique non-linéaire	34
9.2	Phase 2 : Déclaration des paramètres d'un modèle mécanique non-linéaire .	35
9.3	Phase 3 : Préparation de l'appel à l'écoulement non-linéaire	37
9.4	Introduction d'un nouveau comportement élastique	39

Chapitre 1

Préambule

Le logiciel CAST3M est écrit en langage Fortran77 auquel ont été ajoutées quelques instructions. Ce nouveau langage est baptisé ESOPE et sa structure est identique à celle du Fortran. Il existe donc des sous-programmes qui s'appellent les uns les autres. En pratique la connaissance de ESOPE n'est pas demandée pour implanter une nouvelle loi simple, mais peut s'avérer utile pour des lois très compliquées. De plus CAST3M propose à l'utilisateur un langage dénommé GIBIANE qui permet de créer et manipuler des OBJETS, avec lequel on peut créer des procédures encapsulant des séquences de calcul. L'utilisation de ces procédures conserve aux jeux données proprement dits, exprimés en GIBIANE, un caractère paramétrique et synthétique.

A l'installation du logiciel, un répertoire est créé qui contient l'ensemble des fichiers source. Ainsi, le sous-programme `fortran(esope)`, de nom ABCDEF, se trouve dans le fichier **abcdef.eso**. C'est pourquoi nous parlerons par la suite de sous-programme **abcdef.eso**. Le suffixe **.eso** est donné pour préciser que le langage est ESOPE et qu'il faudra lui appliquer la moulinette de traduction en pur Fortran77.

A priori pour compiler un sous-programmes il faut passer la commande :

```
compil abcdef
```

Ceci compile le contenu du fichier **abcdef.eso** après l'avoir traduit en pur Fortran77. Pour faire un load module exécutable de castem il suffit ensuite de passer la commande :

```
essai
```

On est conduit à travailler dans un répertoire contenant des sous-programmes modifiés et/ou créés pour le développement. L'exécution de CAST3M par la commande :

```
castem aa.dgibi
```

dans le répertoire contenant ce nouvel exécutable entrainera l'utilisation du load module. L'opérateur UTIL permet d'utiliser des procédures créées ou modifiées rassemblées dans un fichier **mesprocedures**, au cours de la prochaine exécution de CAST3M :

```
util proc 'mesprocedures' ;  
fin ;
```

Chapitre 2

Introduction

Pour des raisons de régularité et de généralité, un nouvel opérateur **COMP** — comportement — remplace l’opérateur **ECOU** — écoulement. Ce document annule et remplace le rapport [5].

L’implantation d’une nouvelle loi d’évolution et en particulier d’une loi de comportement mécanique nécessite la création d’un nouvel exécutable **cast** obtenu à partir de la modification et/ou l’ajout d’un certain nombre de sous-programmes, mais également la mise à jour de procédures de calculs telles **PASAPAS**, et bien entendu la définition de jeux de données **moncas.dgibi** appropriés. Un tel travail s’articule autour des points suivants, repris dans la construction de ce document :

- *1^{eme} phase* : définition d’un nouveau modèle de matériau — type de formulation ;
- *2^{eme} phase* : description des champs physiques participants à la loi — en mécanique, déformations, contraintes, caractéristiques du matériau, variables internes, ... ;
- *3^{eme} phase* : calcul incrémental.

Les deux premières phases servent à initialiser le logiciel pour qu’il soit capable automatiquement de récupérer les données fournis par l’utilisateur : le développement porte sur les opérateurs **MODE**, **MATE**, ... La troisième phase correspond à la programmation de la loi proprement dite dans l’opérateur **COMP** — qui remplace l’opérateur **ECOU** —, et à la mise au point des procédures qui facilitent l’utilisation de la loi — par exemple **PASAPAS**.

Trois possibilités sont proposées pour l’implantation :

1. description des champs dans des sous-programmes — listes des noms des composantes — : pour les phases 1 et 2 rien n’est changé vis-à-vis de l’opérateur **ECOU** [5]. Puis modification des sous-programmes de **COMP** avec appel éventuel à de nouveaux sous-programmes dans **coml7.eso** ou **coml8.eso**. il peut être nécessaire de modifier **PASAPAS** pour adresser les données convenables à **COMP**.
2. modèles **VISCO_EXTERNE** : en mécanique, un intégrateur dédié au fluage polynomial permet de traiter des expressions où interviennent des champs paramètres

et/ou des variables internes non-standards [6-7]. L'intégrateur est contenu dans le sous-programme **creep.eso**. Les listes des noms de composantes de ces paramètres "externes" et de ces variables internes sont associées à l'objet **MMODEL** dans le jeu de données (voir exemple **creep04_cisXY.dgibi**). Les champs de paramètres externes servent à composer le chargement figurant dans la table argument de la procédure **PASAPAS**; celle-ci sait gérer le calcul a priori sans modification.

3. modèle **NON_LINEAIRE UTILISATEUR** : en mécanique, **CAST3M** offre la possibilité d'exploiter des sous-programmes **fortran77** au standard **UMAT** d'**ABAQUS**, permettant de traiter des comportements très variés [6-7]. La description des composantes matériaux, des noms de variables internes et des noms de champs de paramétrages est possible dans le fichier utilisateur (voir exemple **umat05.dgibi**). Il faut modifier le contenu du sous-programme **umat.eso** qui existe dans **CAST3M**. La procédure **PASAPAS** sait gérer le calcul a priori sans modification .

Les variantes 2 et 3 — réservées à la mécanique — dispensent de réaliser les phases 1 et 2 du développement et conduisent à intervenir en phase 3 sur des sous-programmes spécifiques : les lois de comportement mécanique complexes seront difficiles à réaliser dans ce cadre. La variante 1 offre beaucoup plus de possibilités.

Ce document essaye de donner un aperçu sur l'organisation du logiciel, il donne donc parfois des informations qui ne sont pas strictement nécessaires à l'implantation d'une nouvelle loi de comportement.

Chapitre 3

Phase 1 - Définition d'un nouveau modèle de matériau

Il est nécessaire de mettre à jour l'opérateur `MODE`, qui crée un objet `MMODEL`, association d'une géométrie (objet `MAILLAGE`), d'une formulation physique (ex : `MECANIQUE`), d'un comportement linéaire (ex : `ELASTIQUE ANISOTROPE`), d'un comportement non-linéaire (ex : `VISCOPLASTIQUE CHABOCHE`) et d'une formulation élément fini (ex : `CUB8,DKT`). C'est le sous-programme `modeli.eso` qui effectue le travail en appelant d'autres sous-programmes. Aucun calcul n'a lieu pendant cette étape, seule la description d'un nouveau type de données est à faire. Dans de nombreux opérateurs où un objet `MMODEL` figure en argument, la première action consiste à analyser les informations de celui-ci, ce qui oriente la suite des calculs. En mécanique, l'utilitaire contenu dans le sous-programme `nomate.eso`, qui attribue un numéro à la loi de comportement, est systématiquement utilisé; il convient donc de le mettre à jour, si besoin est, en même temps que `MODE`.

3.1 Variantes 2 et 3

Il n'est pas nécessaire d'intervenir dans l'opérateur `MODE` ni l'utilitaire `nomate.eso` — l'utilisateur attribue un numéro.

- exemple syntaxe modèle `VISCO_EXTERNE` dans le fichier de données :

```
LCPAR24 = MOTS 'TFIS' 'TUO2' 'FACF' 'DSIU' 'DGRA' ;  
LCVAR24 = MOTS 'PSUP' 'QSUP' ;
```

```
mo_uti2 = MODE mail1 'MECANIQUE' 'ELASTIQUE' 'ISOTROPE'  
           'VISCO_EXTERNE' 'GENERAL' 'NUME_LOI' 24  
           'PARA_LOI' LCPAR24 'C_VARINTER' LCVAR24 ;
```

- exemple syntaxe modèle `NON_LINEAIRE UTILISATEUR` dans le fichier de données :

```

LCM05_0 = MOTS 'YOUN' 'NU' ;

LCM05_1 = MOTS 'E001' 'S001' 'E002' 'S002' 'E003' 'S003'
          'E004' 'S004' 'E005' 'S005' 'E006' 'S006'
          'E007' 'S007' 'E008' 'S008' 'E009' 'S009' ;

LCMAT05 = LCM05_0 et LCM05_1 ;
LCVAR05 = MOTS 'EPSE' 'ENXX' 'ENYY' 'ENZZ' 'GNXY' 'GNXZ' 'GNYZ' ;

mo_util = MODE vol1 'MECANIQUE' 'ELASTIQUE' 'ISOTROPE'
          'NON_LINEAIRE' 'UTILISATEUR' 'NUME_LOI' 5
          'C_MATERIAU' LCMAT05 'C_VARINTER' LCVAR05 ;

```

3.2 Variante 1

Liste des formulations disponibles (définies dans **modeli.eso** dans le tableau MOFORM).
 Au besoin il faudra en ajouter une nouvelle.

```

'THERMIQUE' 'MECANIQUE' 'LIQUIDE' 'CONVECTION'
'POREUX' 'DARCY' 'FROTTEMENT' 'RAYONNEMENT'
'MAGNETODYNAMIQUE' 'NAVIER_STOKES' 'MELANGE'

```

modeli.eso appelle un sous-programme **modelj.eso** (j=1,n) suivant la formulation lue (ex : "model2.eso" est appelé dans le cas de la formulation MECANIQUE). Ces sous-programmes servent à dresser la liste de tous les mots acceptés et ceci en fonction de la formulation.

Dans le cas MECANIQUE, (géré par **model2.eso**) le seul comportement linéaire est : ELASTIQUE. La liste des options disponibles aujourd'hui (définies dans **modela.eso**) est :

```

'ISOTROPE' 'ORTHOTROPE' 'ANISOTROPE' 'PORPOR'
'HOMOGENEISE' 'UNIDIRECTIONNEL' 'SECTION' 'ARMATURE'

```

Les comportements non-linéaires disponibles aujourd'hui sont définis dans **modnli.eso**, la liste est :

```

'PLASTIQUE' 'FLUAGE' 'VISCOPLASTIQUE' 'VISCO_EXTERNE'
'ENDOMMAGEMENT' 'PLASTIQUE_ENDOM' 'NON_LINEAIRE'

```

*Remarque : La classification en catégorie PLASTIQUE FLUAGE VISCO... est très formelle. Elle permet de donner un semblant de structuration au logiciel car elle oriente certaines actions de type déclaratives (et non calculatoires). Par exemple les noms des composantes d'un modèle de comportement PLASTIQUE seront définies dans **idplas.eso** alors que celles pour un modèle de type fluage seront définies dans **idflua.eso**. Cependant, vis-à-vis du traitement dans COMP ou PASAPAS ces catégories sont indifférentes.*

Suivant le comportement non-linéaire **model2.eso** se branche sur un des sous-programmes :

PLASTIQUE	----->	modpla.eso
FLUAGE	----->	modflu.eso
VISCOPLASTIQUE	----->	modvis.eso
ENDOMMAGEMENT	----->	modend.eso
PLASTIQUE_ENDOM	----->	modple.eso
NON_LINEAIRE	----->	modenl.eso
VISCO_EXTERNE	----->	modvix.eso

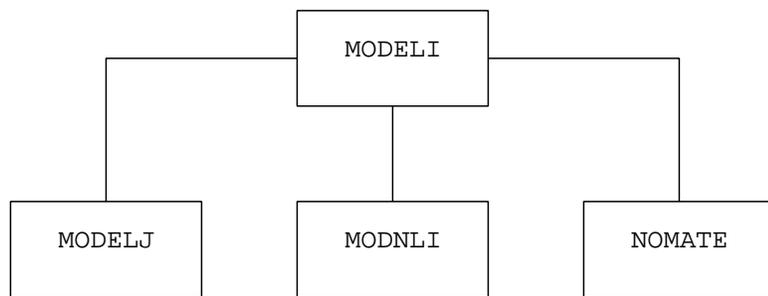
Dans chacun de ces sous-programmes on initialise la liste des modèles disponibles. Par exemple dans **modflu.eso** on trouve :

'NORTON'	'BLACKBURN'	'RCCMR_316'	'RCCMR_304'
'LEMAITRE'	'POLYNOMIAL'	'BLACKBURN_2'	'CERAMIQUE'
'MAXWELL'	'COMETE'	'CCPL'	'X11'
'BPEL_RELAX'	'BETON_URGC'	'SODERBERG'	'MAXOTT'

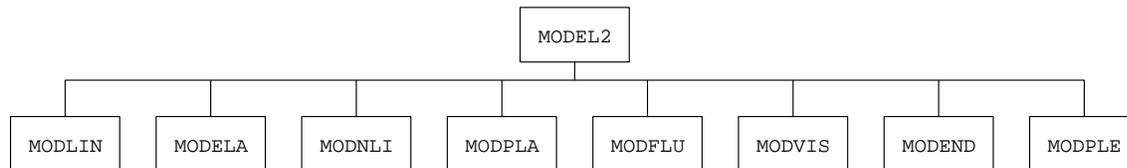
Enfin **nomate.eso** affecte un numero au modèle de matériau et ensuite quelques vérifications sont faites dans **modeli.eso**.

Organigramme des procédures et sous programmes utilisés pour la description d'un modèle.

Exemple : J=2 \Rightarrow MODEL2 \Leftrightarrow "Formulation mécanique"



J = [1 , 11]



3.3 Sous-programmes à modifier

En résumé :

MODEL1.ESO Création de l'objet MMODEL. En général rien à faire ici sauf dans le cas d'une nouvelle formulation simple ou couplée.

1. En cas d'une nouvelle formulation, différente des formulations simples ou couplées déjà existantes, aiguiller le programme sur un nouveau sous programme MODELJ (J>13) pour définir les noms des modèles de matériau et les noms de type d'éléments finis utilisables par une telle formulation. Exemple en mécanique des fluides :

```

ELSE IF (LESFOR(1).EQ.'NAVIER_STOKES') THEN
    CALL MODE11(MOPROP,NPROP,MOTEF,NBTEF,N1MAX,N2MAX)
  
```

2. En cas d'une nouvelle formulation mécanique, différente de celles déjà existantes dans MODNLI.ESO, on doit charger la valeur par défaut dans LESPRO(NMAT). Dans ce cas les lignes à ajouter sont de la forme :

```

(      ....      ELSE IF (IPLAC.EQ.7) THEN
          --
          --
        )
      ELSE IF (IPLAC.EQ.8) THEN
*
*      Par défaut : NOUVFORMULATION ----> NOUVCOMPORTEMENT
*
          NMAT=NMAT+1
          LESPRO(NMAT)='NOUVCOMPORTEMENT'
  
```

MODELJ.ESO Création d'un objet MMODEL spécifique à une formulation nouvelle.

- Dans le cas d'une formulation déjà existante, i.e. thermique, mécanique, liquide, convection, poreux etc., modifier un des sous programmes appelés par MODELJ($1 \leq J \leq 11$), pour la définition des noms des modèles de matériaux et des noms des types d'éléments finis utilisables par une telle formulation.

Remarque : Pour introduire un nouveau modele de comportement mécanique il faudrait modifier MODEL2 mais la programmation de MODEL2 entraine que les modifications sont à faire dans les sous-programmes appelés (modnli, modpla, mod...)

MODNLI.ESO Définition des noms de comportement non-linéaires dans le cas d'une formulation mécanique. Ce sous-programme n'est à modifier que pour ajouter un nouveau type de comportement non-linéaire (plastique, fluage, viscoplastique,..). **En général rien à faire ici non plus ! Par contre il faut modifier un des sous-programmes modpla, modflu, modvis, modend, modple ou modenl.**

MODPLA.ESO Définition des comportements de type PLASTIQUE, ajouter le nouveau. Par exemple, pour introduire un modèle de comportement plastique s'appelant "TRESMOU" on aura besoin d'insérer les lignes :

```
NMOD=62
.
.
MOMODL(62)='TRESMOU'
```

MODFLU.ESO Définition des comportements de type FLUAGE, ajouter le nouveau.

MODVIS.ESO Définition des comportements de type VISCOPLASTIQUE, ajouter le nouveau.

MODEND.ESO Définition des comportements de type ENDOMMAGEMENT, ajouter le nouveau.

MODPLE.ESO Définition des comportements de type ENDOMMAGEMENT, ajouter le nouveau.

MODENL.ESO Définition des comportements de type NON_LINEAIRE, ajouter le nouveau.

MODVIX.ESO Définition des comportements de type VISCO_EXTERNE, ajouter le nouveau.

NOMATE.ESO Attribue un numéro à un modèle de matériau, ce numéro sera celui qui gouvernera l'exécution de l'écoulement non-linéaire faite dans le sous-programme approprié de **coml7eso**. Pour cela il faut initialiser la variable **INATU** (qui s'appellera **INPLAS** dans **coml6.eso**) par une séquence d'instructions comme suit :

```
                ELSE IF (IMOD.EQ.??) THEN
*      NOUVCOMPORTEMENT
                INATU=120
```

Cette séquence d'instructions est à placer en fin de la séquence de **IF . . . ELSEIF . . .** qui est elle-même située après l'appel au sous-programme **MODXXX** (**XXX = ELA,PLA,FLU,VIS,END,PLE**) concerné. La valeur qu'il faut confronter à **IMOD** est à trouver dans le sous-programme **MODXXX** concerné en face de **NOUVCOMPORTEMENT**. Par exemple dans le cas déjà cité de l'incorporation d'un modèle plastique "TRESMOU", il faudra insérer derrière :

```
                ELSE IF(IMOD.EQ.61) THEN
*      JOINT_COAT
                INATU=119
```

les lignes suivantes : (la valeur 120 représente le fait que c'est le 120ème modèle de comportement toutes catégories confondues, information tirée des commentaires du sous-programme **nomate.eso**)

```
                ELSE IF (IMOD.EQ.62) THEN
*      TRES_MOU
                INATU=120
```

Chapitre 4

Phase 2 - Champs relatifs — caractéristiques du matériau

La loi physique associée à l'objet `MMODEL` est une relation entre un ensemble de champs physiques décrits généralement dans `CAST3M` à l'aide de champs par éléments `MCHAML`. On notera que certains champs sont étroitement liés au `MMODEL` — les variables internes pour un modèle de mécanique non-linéaire —, alors que d'autres ont une portée plus générale — température, temps, ... L'utilisateur et le logiciel identifient les variables à l'aide des noms de composantes de ces `MCHAML`. Jusqu'à présent les noms de composantes devaient être écrits dans les sous-programmes. Les modèles `VISCO_EXTERNE` et `UTILISATEUR` permettent désormais de renseigner certains noms dans le jeu de données. Nous citons dans ce chapitre des utilitaires qui servent à décrire le noms des composantes des champs par élément associés principalement à la formulation mécanique. Ces utilitaires sont appelés par des opérateurs tels `MODE`, `MATE`, `EXTR`, `EXIS`, `COMP`, `BSIGM`, `RIGI`, ...

4.1 Opérateur `VARI`

Cet opérateur ne crée pas de nouveaux champs physiques, mais calcule la valeur effective des champs selon celle des paramètres, en utilisant des objets `MMODEL` et `MCHAML` en argument. Une application fréquente est la variation de caractéristiques matériaux en fonction de la température : l'utilisateur fait figurer la courbe des caractéristiques selon la température dans un `MCHAML` à partir duquel `VARI` établit le `MCHAML` des valeurs pour une température donnée. Il faut envisager de modifier `VARI` si l'un des champs de paramètres est définie par une fonction qui ne peut se traduire ni par un objet `EVOLUTION`, ni par un objet `NUAGE` à deux colonnes : plus clairement, `VARI` sait réaliser une interpolation linéaire dans une courbe, ou entre une famille de courbes.

`CAST3M` dispose désormais de l'utilitaire `comput.eso`, appelé par `VARI`, qui facilite les calculs d'instanciation plus complexes. L'utilisateur substitue un développement approprié au contenu du sous-programme standard et crée un nouvel exécutable. Dans le jeu de données, des instructions telles que

```

mo_uti2 = MODE mail1 'MECANIQUE' 'ELASTIQUE' 'ISOTROPE' ;
lpyoun = MOTS 'T ' 'PORO' 'YOGC' ;
lpnu = MOTS 'T ' 'PORO' 'YOGC' ;
ma_uti2 = MATE mo_uti2 'YOUN' lpyoun 'NU ' lpnu 'RHO ' xrho ;

```

permettent de construire le MCHAML de caractéristiques donné en argument de VARI, qui fait alors appel à `comput.eso` pour instancier YOUN et NU. Si la température T apparaît, il est nécessaire qu'elle soit placée en première position dans les objets LISTMOTS tels lpyoun.

4.2 Sous-programmes utilitaires

Ceux-ci doivent notamment être mis à jour si l'on formule un nouvel élément fini :

IDCONT.ESO Ce sous-programme renvoie le nombre et le nom des composantes du tableau des contraintes.

IDDEFO.ESO Ce sous-programme renvoie le nombre et le nom des composantes du tableau des déformations.

IDDEIN.ESO Ce sous-programme renvoie le nombre et le nom des composantes du tableau des déformations inélastiques.

IDGRAD.ESO Ce sous-programme renvoie le nombre et le nom des composantes du tableau des gradients de déplacements.

4.3 Variables internes

Le sous-programme **idvari.eso** renvoie le nombre et le nom des composantes des variables internes. Cependant la variante VISCO_EXTERNE dispose de 4 variables internes prédéfinies ECO, ESW0, P et QTLD, auxquelles l'utilisateur peut adjoindre d'autres composantes dans le jeu de données `moncas.dgibi`. Dans cette variante, l'utilisateur ne dispose que des composantes matériau élastique YOUN, NU, ALPH et RHO. Les autres seront calculées dans **creep.eso**.

La variante NON_LINEAIRE UTILISATEUR conduit à spécifier les composantes des champs de variables internes et de caractéristiques dans le jeu de données. Aucune composante par défaut.

– syntaxe pour les caractéristiques du modèle UTILISATEUR, suite du Chapitre 3 :

```

ma_u0 = MATE mo_util 'YOUN' youn0 'NU ' 0.33 ;

```

```

epsp2 = (prog 0. 1. 2. 3. 4. 5.)*1.e-2 ;

```

```

Y1 = (prog 0. 200. 250. 280. 300. 310.)*1.e6 ;
ma_u11 = MATE mo_util 'E001' (EXTR epsp2 1) 'S001' (EXTR Y1 1)
          'E002' (EXTR epsp2 2) 'S002' (EXTR Y1 2)
          'E003' (EXTR epsp2 3) 'S003' (EXTR Y1 3)
          'E004' (EXTR epsp2 4) 'S004' (EXTR Y1 4)
          'E005' (EXTR epsp2 5) 'S005' (EXTR Y1 5) ;

```

ma_util = ma_u0 et ma_u11

Pour ce modèle, seul le type **REAL*8** est admis pour le champ de caractéristiques utilisé par **COMP** ; ainsi une courbe est traduite par une double liste étiquetée et non par un objet **EVOLUTION**.

Dans le cas le plus général, on est conduit à modifier **idvari.eso** quand on veut introduire un nouveau modèle de comportement.

IDVARI.ESO Déclarations des noms de composantes des variables internes :

- pour un matériau linéaire : le paramètre **MATEPL** est mis à 0
- pour un matériau non linéaire :
 1. Matériau plastique : le paramètre **IPLAC** correspond au type de plasticité défini dans **modpla.eso**. Le paramètre **MATEPL** correspond au numéro du modèle de matériau défini dans **nomate.eso**. En cas de rajout d'un nouveau type de plasticité, charger les noms des variables internes dans le vecteur **LESOBL** et les variables facultatives dans **LESFAC**. Charger la variable **NBROBL** au nombre total de variables internes obligatoires et **NBRFAC** le nombre de variables internes facultatives. Les variables internes sont chargées dans l'un des sous-programmes **idvar6.eso** et **idvar7.eso**.
 2. Matériau fluage : **IPLAC** et **MATEPL** sont définis respectivement dans **modflu.eso** et **nomate.eso**. En cas de rajout d'un nouveau type de fluage, charger les variables internes dans l'un des sous-programmes **idvar1.eso**, **idvar2.eso** ou **idvar3.eso**.
 3. Matériau viscoplastique : **IPLAC** et **MATEPL** sont définis respectivement dans **modvis.eso** et **nomate.eso**. En cas de rajout d'un nouveau type de viscoplasticité, charger les variables internes dans le sous programme **idvar4.eso**.
 4. Matériau endommageable : **IPLAC** et **MATEPL** sont définis respectivement dans **modend.eso** et **nomate**. En cas de rajout d'un nouveau type d'endommagement, charger les variables internes dans **idvar5.eso**.
 5. Matériau plastique endommageable : **IPLAC** et **MATEPL** sont définis respectivement dans **modple.eso** et **idplen.eso**. En cas de rajout d'un nouveau type d'endommagement, charger les variables internes dans **idvar6.eso**.
 6. Matériaux **VISCO_EXTERNE** et **NON_LINEAIRE UTILISATEUR** : non concernés

En résumé : Il faut modifier idvari.eso pour définir MATEPL et pour diriger l'appel vers l'un des IDVARX, — par défaut c'est idvar6.eso qui sera appelé ;

modifier bien entendu **idvarx.eso**. (Exemple en Annexe).

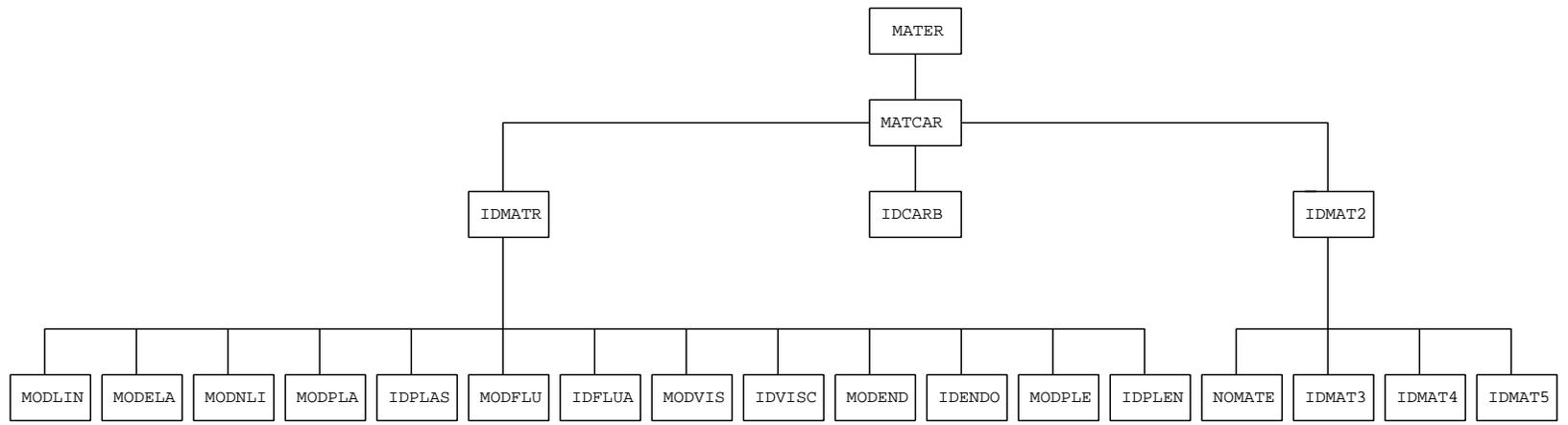
Remarque : La variable interne représentant la déformation plastique équivalente doit de préférence s'appeler EPSE, car c'est ce nom qui est utilisé, par défaut, par la procédure PASAPAS .

4.4 Caractéristiques

La lecture des caractéristiques des matériaux se fait par l'opérateur **MATE** qui appelle le sous-programme fortran **matcar.eso** (via **mater.eso**). Celui-ci commence par appeler le sous-programme **idmatr.eso** qui fabrique une liste de données obligatoires et une liste de données facultatives qui sont fonction de la formulation, du comportement linéaire et du comportement non-linéaire.

Après avoir donné l'organigramme des séquences d'appels des différents sous-programmes (peu sont à modifier), nous dresserons la liste des actions à mener.

Organigramme des procédures et sous-programmes utilisés pour la gestion des caractéristiques du matériau.



MATER.ESO et MATCAR.ESO Création d'un champ de caractéristiques matérielles et/ou géométriques. Rien à faire ici.

IDMATR.ESO Chargement des noms de composantes de matériaux selon le type de formulation. Cette étape est aussi purement descriptive, il s'agit de définir la liste des composantes obligatoires et facultatives à lire puis à la rigueur de faire quelques vérifications ou mises en forme. Certaines données peuvent être fournies par l'utilisateur sous une forme facile pour lui puis transcrite sous une autre forme pour le logiciel (par exemple la lecture des directions d'orthotropie dans un repère cylindrique permet de fabriquer pour chaque élément les composantes de la loi de Hooke dans un repère cartésien), dans ce cas il faudra faire la mise en forme dans un nouveau sous-programme qui sera appelé par IDMAT2.

Ainsi :

1. Si l'on a ajouté un nouveau comportement linéaire dans **modela.eso**, alors il faut déclarer le nom des composantes des caractéristiques du matériau dans **idmatr.eso** (exemple en Annexe). *Cette situation est très rare quand on introduit un modèle de comportement sans introduire simultanément de nouveaux éléments.*
2. Pour la partie non-linéaire du comportement, la déclaration des noms de caractéristiques du comportement se fait dans le sous-programme appelé par **idmatr.eso** qui suivant la formulation est (voir annexe) :

PLASTIQUE	----->	idplas.eso
FLUAGE	----->	idflua.eso
VISCOPLASTIQUE	----->	idvisc.eso
ENDOMMAGEMENT	----->	idendo.eso
PLASTIQUE_ENDOM	----->	idplen.eso
NON_LINEAIRE	----->	idelnl.eso

IDPLAS.ESO Chargement des noms de composantes de matériaux plastiques pour chaque type de plasticité définie dans MODPLA. Ajouter les noms de composantes pour le NOUVCOMPORTEMENT plastique.

IDFLUA.ESO, IDVISC.ESO, IDENDO.ESO, IDPLEN.ESO, IDELNL.ESO

Similaires à **idplas.eso** en cas de FLUAGE, VISCOPLASTICITE, ENDOMMAGEMENT et comportement PLASTIQUE ENDOMMAGEABLE, ou NON_LINEAIRE — autre que UTILISATEUR.

IDMAT2.ESO Création du MCHAML correspondant à un matériau orthotrope.

Remarque : s'il est inutile de prétraiter l'information donnée par l'utilisateur ne rien faire ici ni dans les sous-programmes suivants

IDMAT3.ESO Définition des directions d'orthotropie d'une coque en 3D, et d'un élément joint 3D.

IDMAT4.ESO et IDMAT5.ESO Calcul des cosinus directeurs des axes d'orthotropie par rapport au repère local de l'élément.

Chapitre 5

Phase 3 - Calcul incrémental, opérateur COMP

5.1 Présentation

Le recours à des procédures encapsulant l'appel à l'opérateur COMP, telles que PASAPAS, est recommandé dès que l'on étudie des phénomènes évolutifs. Il peut être nécessaire de modifier ces procédures pour utiliser de nouvelles lois en ajoutant les instructions traitant les nouveaux champs nécessaires. Le détail de l'algorithme utilisé dans **pasapas.procedur** et **increme.procedur** est décrit dans [2].

Nous décrivons dans ce chapitre la programmation de l'opérateur COMP dont la notice est :

Opérateur COMP

Voir aussi : MODE MATE

CARA

CHE1 = COMP MOD1 CHE2 CHE3 ;

Objet :

L'opérateur COMP établit l'évolution des champs relatifs à un modèle physique, lois de comportement, d'état ou bien cinétique, entre un instant initiale et un instant final.

Il est nécessaire de préciser l'objet MMODEL qui induit les lois, l'état initial des champs nécessaires à la formulation contenue dans le modèle et l'état final des variables de controle.

Applications possibles : lois de comportement en mécanique, transitions de phase en métallurgie ...

Commentaire :

MOD1 : type MMODEL

CHE2 : type MCHAML, ensemble des grandeurs décrivant l'état initial pour chaque modèle élémentaire, les champs étant identifiés par des noms de composantes (en 4 lettres) et de constituants. Sont inclus notamment la date 'TEMP', la température 'T '.

CHE3 : type MCHAML, ensemble des grandeurs décrivant l'état final pour chaque modèle élémentaire, les champs étant identifiés de la meme maniere que ci-dessus. Sont inclus notamment la date 'TEMP', la température 'T '.

CHE1 : type MCHAML, ensemble des grandeurs décrivant l'état final.

Remarques :

Mécanique : Les contraintes, variables internes, déformations inélastiques, déformations totales, ainsi éventuellement que les caractéristiques matériau et géométrique, les parametres externes du modele (s'il en existe) et autres grandeurs relatives à l'état initial sont rangées dans CHE2. La déformation totale, les caractéristiques de matériau et géométriques, les parametres externes du modele (s'il en existe) relatifs à l'état final sont rangés dans CHE3. CHE1 contient alors entre autre les nouvelles contraintes, variables internes et déformations inélastiques.

Métallurgie : La température, le temps et les caractéristiques matériau initiales, telles les proportions de phases ou les tailles de grain, sont rangées dans CHE2. La température finale est rangée dans CHE3. CHE1 contient les caractéristiques finales, notamment les proportions de phases.

5.2 Organigramme

Le propos de COMP est de traiter au niveau de chaque volume élémentaire représentatif du milieu des lois et relations liant des grandeurs physiques a priori quelconques.

L'objet MMODEL induit le calcul réalisé. Les objets MCHAML représentent précisément le milieu puisqu'on peut décrire une grandeur en tout point à partir des valeurs aux points de Gauss et des fonctions de forme. On distingue l'état initial — CHE2 — et l'état final — CHE1 reprend les valeurs de CHE3 complétées de celles calculées.

L'opérateur COMP est associé à un certain nombre d'objets temporaires définis dans DECHE.INC. Les variables et tableaux nommés dans ces objets mettent l'accent sur les calculs thermo-poro-mécaniques. **Cependant toute grandeur figurant dans CHE2 ou CHE3 est collectée.** Le segment DECHE permet de recenser toutes les données fournies.

L'opérateur se compose de 4 niveaux de boucles imbriquées dont la fonction est de trier les données, renseigner les objets temporaires wrk52 , wrk522, wrk53 et wrk54, réaliser les calculs avec ceux-ci puis ranger les résultats.

STRUCTURE INFORMATIQUE DE COMP

```
- appel à "coml.eso"
| - lecture des données
| - décompose les MCHAML de données en objets temporaires DECHE
| - appel à "coml2.eso"
|   | - boucle sur les formulations envisageables (voir notice MODE)
|   | - boucle sur les zones de modèles élémentaires
|   | * - reconstruit les champs de caractéristiques pour les états 1
|   | *   et 2 afin de réaliser si besoin des projections
|   | * - trie les DECHE associés à la sous-zone, change au besoin les
|   | *   points supports et projette éventuellement les grandeurs dont
|   | *   le support n'est pas approprié
|   | * - appel à "coml6.eso"
|   | *   | - initialise et renseigne wrk53
|   | *   | - appel à "comouw.eso" : initialise wrk52 et wrk522
|   | *   | - appel à "comcri.eso" : crée les DECHE associées aux
|   | *   |   grandeurs à calculer
|   | *   | - appel à "comtri.eso" : vérifie le type des variables
|   | *   |   des MELVAL
|   | *   | - appel à "comdef.eso" : renseigne wrk53 et les
|   | *   |   segments IECOU et NECOU
|   | *   | - boucle sur les éléments
|   | *   |   * - appel à "comrot.eso" si matériau non isotrope
|   | *   |   * - boucle sur les points de calcul
|   | *   |   * * - appel à "comval.eso" : renseigne wrk52,
|   | *   |   * *   wrk53, wrk522 données aux points de GAUSS
```

```

| | * | * * - appel à "comara.eso" : réorganisation
| | * | * * - appel à "coml7.eso"
| | * | * * | - appel à un sous-programme associé à la
C C * C * * C loi ou la relation physique induite par
O O * O * * O le modèle selon la formulation puis la
M M * M * * M valeur de INPLAS pour la mécanique
L L * L * * L (dans ce cas, le numéro du comportement
| 2 * 6 * * 7 est attribué dans "nomate.eso")
| | * | * * | - appel à "coml8.eso" qui relaie
| | * | * * | "coml7.eso" pour la mécanique
| | * | * * - fin de "coml7.eso"
| | * | * * - appel à "defer1.eso" puis "defer2.eso" pour
| | * | * * messages d'erreur
| | * | * * - appel à "comsor.eso" qui range les résultats
| | * | * * dans les MELVAL
| | * | * - fin boucle sur points de calcul
| | * | * - appel si besoin à "compou.eso" (poutres et tuyaux)
| | * | - fin de boucle sur les éléments
| | * | - appel à "comfin.eso" : fermeture et destruction des
| | * | objets temporaires
| | * - fin de "coml6.eso"
| | * - met à jour l'inventaire des DECHE
| | * - désactivation et suppression de segments
| | - fin de boucle sur les zones de modèles élémentaires
| | - fin de boucle sur les formulations
| - fin de "coml2.eso"
| - construction du MCHAML des résultats
| - compression des MELVAL constants
| - destruction des DECHE
| - écriture des résultats pour gibiane (ecroobj.eso)
-fin de "coml.eso"

```

Le contenu de DECHE.INC :

```

* segment déroulant le mcheml
  SEGMENT,DECHE
    INTEGER INDEC
    CHARACTER*16 CONDEC
    CHARACTER*8 PHADEC
    INTEGER IMADEC, IELDEC, IFODEC
    INTEGER INFDEC(N3)
    CHARACTER*8 NOMDEC
    CHARACTER*16 TYPDEC

```

```

        ENDSEGMENT
        POINTEUR DEC1.DECHE,DEC2.DECHE
* INDEC : indice du MCHELM
* CONDEC : constituant
* PHADEC : phase
* IMADEC : pointeur maillage
* IELDEC : pointeur melval
* IFODEC : CORRESPOND A IFOCHE (voir MCHAML)
* INFDEC : CORRESPOND A INFCHE (voir MCHAML)
* NOMDEC : nom de composante
* TYPDEC : type du champ

c segment des noms de composantes relatives a un champ physique
        SEGMENT NOMID
                CHARACTER*8 LESOBL(NBROBL),LESFAC(NBRFAC)
        ENDSEGMENT
* LESOBL : compoantes obligatoires
* LESFAC : composantes facultatives

* segment des types de composantes relatives a un champ physique
        SEGMENT NOTYPE
                CHARACTER*16 TYPE(NBTYP)
        ENDSEGMENT

* segment des adresses des deche associes a un NOMID
        segment pilnec
                integer pilobl(mobl,mran),pilfac(mfac,mran)
        endsegment

c segment des pointeurs sur nomid et pilnec
        segment domdec
                integer jnomid, jilnec
        endsegment

* pile des domdec (les indices se referent au DATA LISMOT ci-dessous)
        segment piluc(iiluc)
* pile des deche concernes par un modele elementaire
        segment pilcon(iilcon)
* pile de tous les deche correspondant aux melvals vus par l utilisateur
        segment pilmel(iimel)

*
c information sur l element fini

```

```

SEGMENT INFO
  INTEGER INFELE(JG)
ENDSEGMENT

```

C liste de reference identifiant les champs

```

PARAMETER (NMOT=25)
CHARACTER*8 LISMOT(NMOT),MOT
DATA LISMOT / 'NOEUD  ', 'GRAVITE ', 'RIGIDITE', 'MASSE  ',
1             'STRESSES', 'DEPLACEM', 'FORCES  ', 'REACTUAL',
1             'FVOLUMIQ', 'GRADIENT', 'CONTRAIN', 'DEFORMAT',
1             'MATERIAU', 'CHARACTER', 'TEMPERAT', 'PRINCIPA',
1             'MAHOOKE ', 'HOTANGEN', 'DILATATI', 'VARINTER',
1             'GRAFLEXI', 'VONMISES', 'VINMETAL', 'DEFINELA',
1             'PARAMEXT' /

```

* segments pour passer les informations au point d integration

* donnees brutes en entree de COMP, completees par les valeurs calculees
 SEGMENT WRK52

* temps initial, final

```

REAL*8 temp0, tempf

```

*

```

REAL*8 scal0(nsca), scalf(nsca)

```

* déplacements

```

REAL*8 depl0(ndep), deplf(ndep)

```

* forces

```

REAL*8 forc0(nfor), forcf(nfor)

```

* gradients

```

REAL*8 grad0(ngra), gradf(ngra)

```

* contraintes

```

REAL*8 SIG0(NSTRS), SIGF(NSTRS),DSIGT(NSTRS)

```

* deformations totales

```

REAL*8 epst0(NDEF0),DEPST(NDEF0),epstf(NDEF0)

```

* caracteristiques materiau

```

REAL*8 xmat0(ncara),XMAT(NCARA),xmatf(NCARA),
& VALMAT(NCARA),valma0(ncara)

```

c type et nom de composantes relatifs a VALMAT et valma0

```

CHARACTER tyval(ncara)*16, commat(ncara)*8

```

c pointeur sur les melval de caracteristiques materiau a l etat final

```

INTEGER ivalma(ncara)

```

* caracteristiques geometriques

```

REAL*8 xcar0(ncarb),XCARB(NCARB),xcarbf(NCARB),VALCAR(NCARB)

```

c type et nom de composantes pour les caracteristiques

```

        CHARACTER tycar(ncarb)*16,comcar(ncarb)*8
* temperatures
        REAL*8 ture0(ntur), turef(ntur)
* contraintes principales
        REAL*8 prin0(npri), prinf(npri)
* matrices de hook
        REAL*8 maho0(nmah), mahof(nmah)
* matrices hook tangent
        REAL*8 hota0(nhot), hotaf(nhot)
* variables internes
        REAL*8 VARO(NVARI),VARF(NVARI)
* gradients flexion
        REAL*8 graf0(ngrf), graff(ngrf)
*
        REAL*8 rhas0(nrhi), rhasf(nrhi)
* deformations inelastiques
        REAL*8 DEFP(NDEIN),EPINO(NDEIN),EPINF(NDEIN)
* parametres externes
        REAL*8 PAREXO(NPAREX),PAREXF(NPAREX)
* fourre tout pour les comp non prevues et/ou munies d un autre constituant
        CHARACTER*16 typexo(nexo)
        CHARACTER*8 nomexo(nexo)
        CHARACTER*16 conexo(nexo)
        REAL*8 exova0(nexo),exova1(nexo)
        ENDSEGMENT
        segment wrk522
* temps initial, final
        integer mkktp0, mkktpf
*
        integer mkkal0(nsca), mkklaf(nsca),mkkalz
* déplacements
        integer mkkpl0(ndep), mkkplf(ndep),mkkplz
* forces
        integer mkkrc0(nfor), mkkrcf(nfor),mkkrcz
* gradients
        integer mkkad0(ngra), mkkadf(ngra),mkkadz
* contraintes
        integer mkkIGO(NSTRS), mkkIGF(NSTRS),mkkIGT(NSTRS),mkkigz
* deformations totales
        integer mkkst0(NDEF0),mkkPST(NDEF0),mkkstf(NDEF0),mkkstz
* caracteristiques materiau
        integer mkkat0(ncara),mkkMAT(NCARA),mkkatf(NCARA),
& mkkVAT(NCARA),mkkva0(ncara),mkkatz

```

```

c pointeur sur les melval de caracteristiques materiau a l etat final
  INTEGER mkkhma(ncara)
* caracteristiques geometriques
  integer mkkar0(ncarb),mkkARB(NCARB),mkkrbf(NCARB),mkkVCR(NCARB)
  integer mblcar,mkkarz
* temperatures
  integer mkkre0(ntur), mkkref(ntur),mkkrez
* contraintes principales
  integer mkkim0(npri), mkkimf(npri),mkkinz
* matrices de hook
  integer mkkho0(nmah), mkkhof(nmah),mkkhoz
* matrices hook tangent
  integer mkkta0(nhot), mkktaf(nhot),mkktafz
* variables internes
  integer mkkVRO(NVARI),mkkVRF(NVARI),mkkvvrz
* gradients flexion
  integer mkkaf0(ngrf), mkkaff(ngrf),mkkafz
*
  integer mkkas0(nrhi), mkkasf(nrhi),mkkasz
* deformations inelastiques
  integer mkkEFP(NDEIN),mkkPNO(NDEIN),mkkPNF(NDEIN),mkkpnoz
* parametres externes
  integer mkkEXO(NPAREX),mkkEXF(NPAREX),mkkexz
* fourre tout pour les comp non prevues et/ou munies d un autre constituant
  integer mkkvx0(nexo),mkkvx1(nexo),mkkvxz
  ENDSEGMENT
*
* quelques donnees pratiques
  SEGMENT WRK53
  INTEGER MATE,INPLAS,MELE,IPMAIL,NPINT,NBNN,NBELEM
  INTEGER NFOR,NMAT,NUMAT,NUCAR,NMATR,NCARF
  INTEGER MFR,NBG,NBGS,NSTRS,LRE,LW,LW2,LHOOK,LHOO2,IPORE,NBNO
  INTEGER NVART,NMATT,NCARR,JECHER,ISTEP,NBINT,JNOID
  INTEGER NBPTL,NEL,N2PTL,N2EL,KERRE
  INTEGER ITHHER
  CHARACTER*8 CMATE
  CHARACTER*16 CONM
  LOGICAL LOGSUC,LOGVIS,LUNI1,LUNI2,LOGRE,LOGIN
  REAL*8 PRECIS,SECT,COB,XMOB,EPAIST
  REAL*8 BID(6),BID2(6)
  REAL*8 COORGA(3),LCARAC
  ENDSEGMENT
* MATE : numero de materiau

```

```

* INPLAS : numero loi de comportement
* MELE : numero element fini
* IPMAIL : pointeur maillage
* NPINT : nombre points d integration coque
* NBNN : nombre de noeuds
* NBELEM : nombre d elements
* MFR : numero formulation
* NBPTL : nombre de points d integrations
* NEL : nombre d elements
* KERRE : indicateur d erreur
* CMATE : description comportement
* CONM : constituant du modele
* PRECIS : precision
* SECT : section
* EPAIST : epaisseur
* COORGA(3) : coordonnees cartesiennes du point d'integration courant
* LCARAC : longueur caracteristique de l'element courant

* tableaux intermediaires
  SEGMENT WRK54
    REAL*8 DDHOOK(LHOOK,LHOOK)
    REAL*8 DDAUX(LHOOK,LHOOK)
    REAL*8 TXR(IDIM, IDIM), DDHOMU(LHOOK, LHOOK)
    REAL*8 XLOC(IDIM, IDIM), XGLOB(IDIM, IDIM)
    REAL*8 D1HOOK(LHOOK, LHOOK), ROTHOO(LHOOK, LHOOK)
    CHARACTER*16 TYMAT(NCXMAT)
    REAL*8 XMAT1(NCXMAT), XMAT2(NCXMAT)
  ENDSEGMENT
*
```

5.3 Développement

Il s'agit avec COMP d'être à même d'utiliser toutes les grandeurs figurant parmi les données transmises par l'opérateur, et de retrouver celles-ci dans des tableaux aux appellations conventionnelles au niveau des sous-programmes appelés par **coml7.eso** et **coml8.eso**. A ce titre la liste de mots LISMOT contenue dans DECHE.INC décrit les champs a priori recherchés et est exploitée systématiquement dans les sous-programmes

- **comou2.eso** , appelé par **comouw.eso**
- **cotype.eso**, appelé par **comcre.eso**, appelé par **comcri.eso**
appelé par **comtri.eso**
- **comval.eso**
- **comsor.eso**

En particulier, les noms de champs spécifiés, pour les modèles `VISCO_EXTERNE` ou `NON_LINEAIRE UTILISATEUR`, sous l'étiquette `PARA_LOI` par l'utilisateur lors de la déclaration du modèle, correspondent à l'étiquette 'PARAMEXT' de `LISMOT` et aux tableaux `PAREX0` et `PAREXF` de `wrk52`.

Les tableaux `typexo`, `nomexo`, `conexo`, `exava0` et `exova1` sont renseignés avec les champs qui n'ont pas été identifiés au travers de la liste `LISMOT`.

L'objet temporaire `wrk52` est construit en distinguant état initial — terminaison 0 — et état final — terminaison f. En mécanique, les contraintes initiales sont dans `sig0`, l'incrément de déformation `depst` est la différence des déformations finales et initiales, les caractéristiques `xmat` et `xmatf` correspondent à l'état final. L'opérateur calcule les contraintes et les variables internes finales dans `sigf` et `varf`.

Quelques tableaux utilitaires sont inclus — par exemple `dsigt` pour les contraintes. Les tableaux peuvent paraître redondants : `valmat` et `xmat` pour les caractéristiques matériau. On notera que pour les caractéristiques on dispose des noms des composantes et de leurs types. Par ailleurs, des tableaux permettent d'exploiter les champs non-désignés dans la liste `LISMOT`.

L'objet temporaire `wrk522` est un préconditionnement pour renseigner `wrk52` dans `comval.eso`.

L'objet temporaire `wrk54` est un utilitaire permettant de calculer les opérateurs d'élasticité avec le sous-programme `calsig.eso`.

L'objet temporaire `wrk53` consigne des données communément employées.

Pour prendre en compte une nouvelle loi de comportement en mécanique il suffit généralement de modifier :

1. `coml8.eso` : il faut insérer le sous-programme propre à la loi, par exemple sous la forme

```
IF (INPLAS.EQ.???) THEN
    CALL CMALOI(wrk52,wrk53,wrk54,wrk27,IB,IGAU,
&              NBPGAU,ecou,necou,iecou)
ENDIF
```

`wrk27` représentant éventuellement un segment utilitaire propre à cette loi.

2. `cotype.eso` : quand ce n'est pas une loi `VISCO_EXTERNE` ou `UTILISATEUR` et quand la loi utilise des champs qui ne sont pas décrits localement par des réels, il est nécessaire de rajouter autant de séquences que nécessaire, en suivant les adresses induites par la liste `LISMOT`, suivant le modèle

```

IF (INPLAS.EQ.???) THEN
  NBTYPE=YYYY
  SEGINI NOTYPE
  MOTYPE=NOTYPE
  .
  .
  .
  TYPE(K)=TYPEVAR (K=1,...,YYYY)
  .
  .
  .
ENDIF

```

Signification des variables

INPLAS Le paramètre INATU de **NOMATE.ESO** (numéro de nature du matériau). est à confronter au numéro affecté au nouveau modèle dans ce sous-programme.

YYYY Nombre de composantes

TYPEVAR Chaîne de caractères valant, soit **REAL*8** si la K^{eme} composante est un réel, soit par exemple **POINTEUREVOLUTIO** s'il s'agit d'une courbe. On n'écrit la séquence que si l'une des composantes est associée à un **POINTEURZZZZZZZZ**, pour la grandeur physique — caractéristiques, variables internes, ... — envisagée.

Remarque : Dans les instructions **TYPE(K)=TYPEVAR** concernant les caractéristiques on mettra d'abord les caractéristiques plastiques obligatoires, puis les caractéristiques facultatives.

Pour introduire des ensembles de lois faisant intervenir des grandeurs physiques non recensées dans la liste **LISMOT** — champs électromagnétiques, vecteurs flux, ... —, on peut envisager d'introduire les labels adéquats dans la liste **LISMOT**, en allongeant celle-ci ou encore en renommant les étiquettes '**RIGIDITE**', '**MASSE**' et '**STRESSES**' de la liste qui sont inemployées. Par la suite on sera conduit à ajouter les tableaux nécessaires dans **wrk52** et **wrk522**, puis à modifier principalement

- **comou2.eso**
- **cotype.eso**
- **comcri.eso**
- **comval.eso**
- **comsor.eso**
- **coml7.eso**

On aura soin de recompiler tous les sous-programmes utilisant **DECHE.INC**.

Chapitre 6

Sous-programmes principaux de COML6.ESO

COMOUW.ESO Dimensionne les objets temporaires `wrk52` et `wrk522` et détermine l'association entre les segments `DECHE` et les composantes des différents tableaux.

COMCRI.ESO Crée les segments `DECHE` destinés à recueillir les résultats.

COMTRI.ESO Vérifie le type des données.

COMDEF.ESO Renseigne les segments `wrk53`, `necou`, `iecou` et `xecou`.

COMROT.ESO Matériaux inélastiques orthotropes, anisotropes et unidirectionnels :

- en formulation massive : on cherche les coordonnées des noeuds de l'élément courant pour le calcul des axes locaux.
- cas particulier de l'ACIER_UNI

COMVAL.ESO Renseigne l'objet intermédiaire `wrk52` à partir des segments `MELVAL`. Ce programme se réfère à la liste `LISMOT`. Si besoin est, on cherche la section de l'élément courant, on prend en compte l'épaisseur et l'excentrement dans le cas des coques minces avec ou sans cisaillement transverse.

COMARA.ESO Quelques calculs intermédiaires et réarrangement éventuel des données des tableaux `xmat0`, `xmat` et `tymat`, de sorte que les caractéristiques du matériau sont souvent placées dans l'ordre suivant :

- caractéristiques élastiques obligatoires :

$$E, \nu$$

- caractéristiques "élastiques" facultatives :

$$\alpha, \rho$$

- caractéristiques non linéaires obligatoires (dans l'ordre des déclarations dans les sous-programmes IDPLAS, IDFLUA, IDVISC, IDENDO, IDPLEN)
- caractéristiques non linéaires facultatives

COML7.ESO Gère l'appel des sous-programmes traitant les lois et relations ; est relayé par **coml8.eso** pour la mécanique.

DEFER1.ESO Traite les messages d'erreur en cas de problème de convergence

DEFER2.ESO Traite les autres messages d'erreur en général à partir de la variable KERRE de l'objet temporaire **wrk53** (0 si pas d'erreur). rappelons qu'il faut également modifier **gibi.erreur** lorsqu'un nouveau message est ajouté .

COMSOR.ESO On remplit les MELVAL concernés à partir de **wrk52**. Ce programme se réfère à la liste LISMOT.

COMPOU.ESO Réalise des moyennes pour les cas particuliers des poutres et tuyaux (sauf Timoshenko) et renseigne les MELVAL.

COMFIN.ESO Supprime les objets temporaires **wrk52** et **wrk522** et quelques autres segments.

Signalons l'existence de quelques utilitaires pour la mécanique :

- **calsig.eso** permet de calculer un incrément de contraintes en supposant un comportement élastique, connaissant un incrément de déformation. Cet utilitaire, appelé directement dans **coml7.eso** ou bien par les sous-programmes propres aux diverses lois, a besoin d'un certain nombre d'informations qui se trouvent en partie dans les variables suivantes :

IMAT	entier	
ICAR	entier	
VALMAT	real*8	
VALCAR	real*8	
LHOOK	entier	
N2EL	entier	
N2PTEL	entier	
NBNO	entier	Ces quantités sont là pour être passées à "calsig.eso"
NBPGAU	entier	qui calcule l'incrément de contraintes en comportement
LW	entier	élastique. Pour la dimension des tableaux prendre exemple
NBGMAT	entier	dans le sous-programme "prpvar.eso"
NELMAT	entier	
TXR	real*8	
XLOC	real*8	
D1HOOK	real*8	
ROTHOO	real*8	
DDHOMU	real*8	
CRIGI	real*8	
NUMAT	entier	
NUCAR	entier	
DSIGT	real*8	sortie de calsig, incrément des contraintes en élastique

- **ccoinc.eso**, appelé dans **coml7.eso** traite l'écoulement plastique par une méthode inspirée du "radial-return".
- **ccconst.eso**, appelé dans **coml7.eso** traite les lois de viscosité avec une méthode de Runge-Kutta d'ordre 4.

Chapitre 7

Conclusion

Nous avons évoqué les 3 phases d'implantation d'un nouveau modèle dans CAST3M : i) déclaration, ii) reconnaissance des champs impliqués, iii) calcul incrémental.

Pour introduire une loi d'évolution physique ou un modèle de comportement mécanique non-linéaire dans Castem2000, la connaissance approfondie d'ESOPÉ n'est pas utile. Si le développeur doit intervenir dans une petite dizaine de sous-programmes, il peut constater que dans la plupart des cas très peu de lignes fortran sont à ajouter.

Nous espérons que le lecteur aura bien pris conscience que s'il possède déjà une boîte fortran réalisant l'écoulement de son modèle, l'incorporation dans Cast3M est normalement l'affaire de un ou deux jours.

Dans les cas de modèles très compliqués (par exemple le modèle de MAXWELL dont le nombre de variables internes n'est pas connu par avance), une maîtrise plus grande du logiciel est souhaitable (contacter l'équipe de développement).

Nous espérons que ce document s'enrichira et nous sommes prêts à le rendre plus explicite, en fonction de vos suggestions.

Chapitre 8

Bibliographie

- [1] FELIX S.
Implantation d'un nouvel élément fini dans le code CASTEM 2000.
Rapport DMT/93-654
- [2] DE GAYFFIER A.
Algorithme non linéaire de CASTEM 2000 (NONLIN et INCREME)
Rapport DMT/94-188
- [3] FELIX S.
Implantation d'un nouveau modèle de comportement dans le code de calcul CASTEM 2000
Rapport DMT/94-530
- [4] LE BOULCH D.
Implantation d'un nouveau modèle de comportement dans le code de calcul CASTEM 2000
Rapport DMT/97-215
- [5] CHARRAS T.
CASTEM2000. Implantation d'une nouvelle loi de comportement.
Rapport DMT/98-029
- [6] LAINET M.
PROJET PLEIADES. Spécifications / Conception d'une évolution du code CAST3M pour la prise en compte d'un modèle de comportement mécanique non-linéaire défini à l'externe par l'utilisateur. Révisions pour compatibilité avec ABAQUS. Guide d'utilisation.
Rapport n CS/311-1/AJ02A009/RAP/02/07/15 Version 2.2
- [7] LAINET M.
PROJET PLEIADES. Evolution du code CAST3M pour la prise en compte d'un modèle de comportement mécanique non-linéaire défini à l'externe par l'utilisateur.
Rapport de validation.
Rapport n CS/311-1/AJ02A009/RAP/03/01/09 Version 1.0
Ce document résulte de l'amélioration des références 3 à 7.

Chapitre 9

ANNEXE

Nous considérons par exemple l'implantation du modèle viscoplastique de KOCKS.

9.1 Phase 1 : Déclaration d'un modèle mécanique non-linéaire

1. Le premier travail est à faire dans **modvis.eso** où il faut déclarer le modèle en introduisant la ligne :

```
MOMODL(9)='KOCKS'
```

2. Il faut ensuite déclarer un numéro global de comportement non-linéaire dans **no-mate.eso**. Cela se traduit par les lignes :

```
.....  
.....  
*      'KOCKS'                               INATU = 70  
.....  
.....  
.....  
                                           ELSE IF (IMOD.EQ.9 ) THEN  
*      KOCK  
                                           INATU = 70
```

9.2 Phase 2 : Déclaration des paramètres d'un modèle mécanique non-linéaire

1. Ensuite dans **idvari.eso** il faut remplir la variable MATEPL par la séquence suivant :

```
ELSE IF (IPLAC.EQ.9 ) THEN
*   KOCK
      MATEPL=70
      INMAT=INMAT+1
```

Puis prévoir l'appel à un des **idvarX.eso** (ici **idvar4.eso**) par la séquence suivante ou seule la partie **.OR.MATEPL.EQ.70** (en majuscule) a été ajoutée :

```
*
      else if (matepl.eq.25.or.matepl.eq.63.OR.MATEPL.EQ.70) then
          call idvar4(matepl,mfr,ifour,npint,ipcomp,nbrobl,nbrfac)
```

2. Il faut enfin déclarer le noms des variables internes dans **idvar4.eso**. Le retour des **idvarX.eso** est le pointeur IPCOMP qui pointe sur un segment de type NOMID. Dans notre exemple il fallait introduire dans **idvar4.eso** la séquence :

```
*-----
*   MODELE ELASTIQUE VISCOPLASTIQUE DE KOCKS
*
      ELSE IF ( MATEPL .EQ. 70 ) THEN
          IF ( MFR.EQ.1.AND.(IFOUR.NE.-2.AND.(IFOUR.NE.1))) THEN
              NBROBL = 2
              SEGINI NOMID
              LESOBL(1) = 'EPSE'
              LESOBL(2) = 'S   '
              IPCOMP=NOMID
              SEGDES NOMID
              RETURN
          ENDIF
*   OPTION INDISPONIBLE
      CALL ERREUR(19)
      RETURN
```

Remarque : IFOUR traduit le MODE de l'opérateur OPTIO :

- -3 : DEFORMATION PLANE GENERALISEE
- -2 : CONTRAINTES PLANES
- -1 : DEFORMATION PLANE
- 0 : AXISYMETRIQUE
- 1 : SERIE DE FOURIER
- 2 : TRIDIMENSIONNEL

et MFR est le numéro de formulation élément fini voir **nummfr.eso**. MFR est égal à 1 pour les éléments massifs.

3. Puis on doit déclarer dans **idvisc.eso** le nom des paramètres matériau de la loi de comportement de KOCKS. Ce qui est réalisé en introduisant la séquence suivante dans le sous-programme :

```

ELSE IF (IPLAC.EQ.9) THEN

*   VISCOPLASTIQUE MODELE DE KOCK

      MLMOTS=MOOBL
      JGA=MOTS(/2)
      JGM=JGA+10
      SEGADJ MLMOTS
      MOOBL=MLMOTS
      MOTS(JGA+1)='A   '
      MOTS(JGA+2)='B   '
      MOTS(JGA+3)='M   '
      MOTS(JGA+4)='Q   '
      MOTS(JGA+5)='R   '
      MOTS(JGA+6)='HO  '
      MOTS(JGA+7)='AP  '
      MOTS(JGA+8)='SB  '
      MOTS(JGA+9)='N   '
      MOTS(JGA+10)='SO '
      GOTO 9999

```

Dans cet exemple, il n'y a pas de paramètre facultatif, sinon on aurait procédé de la même façon à partir de MLMOTS = MOFAC.

L'instruction MOTS(/2) demande la 2ème dimension du tableau MOTS (étant un tableau de chaînes de caractères, on considère le nombre de caractères par chaîne comme la première dimension et le nombre de chaînes comme la deuxième dimension. SEGADJ MLMOTS demande de redimensionner le segment avec les nouvelles dimensions courantes (JGN et JGM).

9.3 Phase 3 : Préparation de l'appel à l'écoulement non-linéaire

1. Pas d'intervention dans **cotype.eso** : en effet les paramètres matériaux et les variables internes sont de type **REAL*8**, qui est le type par défaut.
2. La variable **LOGVIS** est initialisée à **.true.** dans **comdef.eso**

```
      if ( inplas .eq. 17 .or.  
2      ( inplas .ge. 19 .and. inplas .le. 25) .or.  
4      inplas .eq. 61 .or.  
4      inplas .eq. 63 .or.  
4      inplas .eq. 65 .or.  
1      inplas .eq. 53 .or.  
1      inplas .eq. 29 .or.  
2      inplas .eq. 44 .or. inplas .eq. 45 .or.9      inplas .eq. 76 .or.  
9      inplas .eq. 77 .or. inplas .eq. 82      ) then  
      logvis=.true.  
endif
```

La variable **IND** prend la valeur 1, le nombre de sous-pas et la précision des itérations interne sont initialisées

```
      IF ( INPLAS .EQ. 17 .OR. INPLAS .EQ. 19 .OR.  
2      INPLAS .EQ. 20 .OR. INPLAS .EQ. 61 .OR.  
3      INPLAS .EQ. 21 .OR. INPLAS .EQ. 65 .OR.  
4      INPLAS .EQ. 22 .OR. INPLAS .EQ. 23 .OR.  
5      INPLAS .EQ. 24 .OR. INPLAS .EQ. 70 .OR.  
6      INPLAS .EQ. 25 .OR. INPLAS .EQ. 29 .OR.  
7      INPLAS .EQ. 43 .OR. INPLAS .EQ. 44 .OR.  
8      INPLAS .EQ. 45 .OR. INPLAS .EQ. 53 .OR.  
9      INPLAS .EQ. 63 .OR. INPLAS .EQ. 66 .OR.  
a      INPLAS .EQ. 74 .OR. INPLAS .EQ. 76 .OR.  
b      INPLAS .EQ. 84 .OR. INPLAS .EQ. 85 .OR.  
c      INPLAS .EQ. 86 .OR.  
d      INPLAS .EQ. 77 .OR. INPLAS .EQ. 82 .OR.  
e      INPLAS .EQ. 106 .OR. INPLAS .EQ. 102 .OR.  
f      INPLAS .EQ. 107 .OR. INPLAS .EQ. 108) THEN
```

*

```

      IND = 1
*
      if (inplas.eq.44.or.inplas.eq.45) then
        MSOUPA = 2000
      else
        MSOUPA = 200
      endif
      PRECIS = 5.d-7
    ENDIF

```

3. Il est nécessaire d'intervenir dans **coml7.eso**. En effet, le modèle de KOCKS est intégré par une méthode classique de Runge-Kutta pour lequel un utilitaire est disponible : le sous-programme **cconst.eso**. Il faut donc appeler ce sous-programme dans la séquence suivante :

```

*-----
*      modeles de viscoplasticite integres par consti
*-----
      IF ( INPLAS .EQ. 17 .OR.
2         (INPLAS .GE. 19 .AND. INPLAS .LE. 25) .OR.
3         INPLAS .EQ. 61 .OR. INPLAS .EQ. 63 .OR.
4         INPLAS .EQ. 53 .OR. INPLAS .EQ. 102 .OR.
5         INPLAS .EQ. 44 .OR. INPLAS .EQ. 76 .OR.
6         INPLAS .EQ. 45 .OR. INPLAS .EQ. 77 .OR.
7         INPLAS .EQ. 84 .OR. INPLAS .EQ. 85 .OR.
8         INPLAS .EQ. 86 .OR. INPLAS .EQ. 70 .OR.
9         INPLAS .EQ. 107) THEN
*
      ...
*
      CALL CCONST(wrk52,wrk53,wrk54,WRK7,WRK8,WRK9,
1          NVARI,NSSINC,INV,IFORB,TETA1,TETA2,FI1,FI2,
4          TLIFE,NCcor,IB,IGAU,NBPGAU,KERREU1,iecou,xecou)
      ...

```

4. Dans cet exemple, l'écoulement profite de la structure de **cconst.eso**; cependant pour le modèle de KOCKS il faut appeler dans **cconst.eso** un nouveau sous-programme **incre8.eso** qui réalise le calcul d'un incrément de déformation et de variables internes. le sous-programme **advan1.eso** a lui aussi été légèrement modifié.

9.4 Introduction d'un nouveau comportement élastique

Nous prendrons l'exemple du modèle de la SECTION de la poutre à fibre.

1. On introduit dans **modela.eso** la ligne :

```
MOMODL(7)='SECTION'
```

2. Puis il est nécessaire de définir dans **idmatr.eso** le nom des caractéristiques obligatoires et facultatives du comportement linéaire. Ceci se fait par :

```
ELSE IF (IPLAC.EQ.7) THEN
C
C   MODELE ET MATERIAU DE LA SECTION DU MODELE A FIBRE
C
      JGM=2
      SEGINI MLMOTS
      MOOBL=MLMOTS
      MOTS(1)='MODS'
      MOTS(2)='MATS'
      JGM=1
      SEGINI MLMOTS
      MOFAC=MLMOTS
      MOTS(1)='MAHO'
```

SEGINI MLMOTS est un ordre ESOPE demandant de créer un segment de type MLMOTS, qui d'après sa définition dans le -INC SMLMOTS que voici :

```
*=====
*
*   OBJET DE TYPE 'LISTMOTS'. DEFINIT UNE LISTE DE MOTS.
*
*   SEGMENT MLMOTS
*     CHARACTER*(JGN) MOTS(JGN)
*   ENDSEGMENT
*   POINTEUR MLMOT1.MLMOTS,MLMOT2.MLMOTS,MLMOT3.MLMOTS
*   POINTEUR MLMOT4.MLMOTS,MLMOT5.MLMOTS,MLMOT6.MLMOTS
*
*=====
```

contient un tableau de JGM chaînes de JGN caractères chacune. Les valeurs des pointeurs sont sauveés dans MOOBL pour le pointeur des noms de caractéristiques obligatoires et dans MOFAC pour celui des noms de caractéristiques facultatives. Ce sont ces tableaux qui permettront de remplir le segment NOMID qui contient :

SEGMENT NOMID

CHARACTER*8 LESOBL(NBROBL) , LESFAC(NBRFAC)

ENDSEGMENT