

**Manuel d'Utilisation**  
**Fascicule U4.6- : Matrices/Vecteurs élémentaires et assemblage**  
**Document : U4.62.01**

## Opérateur `MACR_ELEM_STAT`

---

### 1 But

---

Créer des macro-éléments pour les calculs de "sous-structuration statique" ou pour les calculs de "modification structurale".

Dans le cas des calculs de "sous-structuration statique", le macro-élément est calculé par assemblage d'éléments finis ordinaires et condensation des matrices aux degrés de liberté "extérieurs".

Dans le cas de la "modification structurale", le macro-élément est calculé par expansion et condensation du modèle modal identifié (mesuré) aux degrés de liberté "extérieurs".

Produit une structure de données de type `macr_elem_stat`.

## 2    Syntaxe

```

S1 (macr_elem_stat) =  MACR_ELEM_STAT  (

    ◇  reuse = S1,
    ◇  DEFINITION = _F  (

        / # sous-structuration statique :
        ◆  MODELE =                mo ,                [modele]
        ◇  CHAM_MATER =            chmat ,            [cham_mater]
        ◇  CARA_ELEM =            carac ,            [cara_elem]
        ◇  CHAR_MACR_ELEM =        lchar ,            [l_char_meca]
        ◇  INST =                  /  inst ,            [R]
                                   /  0.0 ,            [DEFAULT]
        ◇  NMAX_CAS =              /  10,            [DEFAULT]
                                   /  nbcamx ,          [I]
        ◇  NMAX_CHAR =            /  10,            [DEFAULT]
                                   /  nbchmx ,          [I]

        / # modification structurale :
        ◆  MODELE =                mo ,                [modele]
        ◇  CHAM_MATER =            chmat ,            [cham_mater]
        ◇  CARA_ELEM =            carac ,            [cara_elem]
        ◆  PROJ_MESU =            repgene            /  [tran_gene]
                                                /  [harm_gene]
                                                /  [mode_gene]
        ◆  MODE_MESURE =          modemes            /  [mode_meca]
                                                /  [base_modale]
                                   )

    ◇  EXTERIEUR = _F  (

        |  NOEUD =                l_no ,                [l_noeud]
        |  GROUP_NO =            l_gno ,            [l_gr_noeud]
                                   ),

    ◇  RIGI_MECA = _F  ( ),

    ◇  MASS_MECA = _F  ( ),

    # sous-structuration statique :
    ◇  CAS_CHARGE = (_F(

        ◆  NOM_CAS =              nocas ,                [k8]
        ◇  SUIV =                  /  'OUI' ,            [DEFAULT]
                                   /  'NON'
        ◇  CHARGE =                lchar ,            [l_char_meca]
        ◇  INST =                  /  tps ,            [R]
                                   /  0.0 ,            [DEFAULT]
                                   ), ),
    )

```

## 3 Généralités

Cet opérateur est un point de passage **obligatoire** pour la sous-structuration statique ou pour un calcul de modification structurale par condensation de la mesure.

Pour la sous-structuration statique, il sert :

- à définir un macro-élément (mots clés : DEFINITION et EXTERIEUR),
- à demander la condensation de la matrice de rigidité (ou de masse),
- à définir (et condenser) les chargements associés ; l'utilisateur peut nommer à cette occasion un ou plusieurs cas de charge.

Ces 3 étapes peuvent être faites dans un seul appel à MACR\_ELEM\_STAT. Mais elles peuvent être faites en plusieurs fois grâce à l'emploi du mot clé "reuse" (enrichissement du `macr_elem_stat`). L'étape de définition est obligatoirement à réaliser en premier. La condensation de la masse doit se faire après la condensation de la rigidité.

Pour la modification structurale, il sert :

- à définir un macro-élément (mots clés : DEFINITION et EXTERIEUR),
- à demander l'expansion et la condensation de la mesure pour aboutir à des matrices de rigidité et de masse condensées.

Le `macr_elem_stat` est une structure de données qui contient :

- ses références : `modele`, `cara_elem`, `cham_mater`, `charge`,
- sa description topologique : les nœuds extérieurs,
- ses matrices condensées (rigidité, masse, ...),
- une liste de chargements condensés nommés (pour la sous-structuration statique).

L'utilisation de l'ensemble des opérateurs de sous-structuration statique est décrite dans la notice U2.07.02, et la démarche de modification structurale est décrite dans la notice U2.07.03.

## 4 Opérandes

### 4.1 Mot clé DEFINITION

◇ DEFINITION

Ce mot clé facteur (non répétable) sert à définir le macro-élément.

#### 4.1.1 Opérande MODELE

◆ MODELE = mo

Cas "sous-structuration statique" :

Nom du modèle que l'on veut condenser. Les matrices (et chargements) que l'on condense sont toujours calculés sur le modèle **dans son ensemble**. Lorsque l'on veut condenser plusieurs sous-ensembles d'un même maillage, il faut donc créer plusieurs modèles sur des groupes de mailles différents.

Cas "modification structurale" :

Nom du modèle donné dans le mot clé `MODELE_CALCUL` de la commande `PROJ_MESU_MODAL` associé à `repgene` du mot clé `PROJ_MESU`. Ce modèle sert de support pour l'expansion de la mesure aux nœuds "externes".

## 4.1.2 Opérande CHAM\_MATER

◇ CHAM\_MATER = chmat

Nom du champ de matériau associé au modèle. Cet argument est inutile si le modèle ne contient que des éléments discrets et des sous-structures statiques. Il est obligatoire sinon.

## 4.1.3 Opérande CARA\_ELEM

◇ CARA\_ELEM = carac

Nom des caractéristiques élémentaires si le modèle comporte des éléments de poutre, de plaque ou de coque.

## 4.1.4 Opérandes CHAR\_MACR\_ELEM / INST

◇ CHAR\_MACR\_ELEM = lchar

Cet argument sert à définir :

- le chargement thermique qui modifie éventuellement les caractéristiques du matériau, lorsque celles-ci dépendent de la température ; on précisera si nécessaire l'instant de l'évolution thermique (mot clé INST),
- les conditions cinématiques appliquées aux **nœuds internes** (cf. mot clé EXTERIEUR) du macro élément.

◇ INST = inst

Lors d'un calcul pour lequel les caractéristiques de matériau dépendent de la température, on précise ici le champ de température à utiliser. Le champ utilisé est celui correspondant à l'instant inst de l'évolution thermique référencée dans la liste des charges lchar (se reporter à la commande CALC\_MATR\_ELEM ( 'RIGI\_MECA' ) ) [U4.61.01].

### Remarques sur les conditions cinématiques :

*Dans les opérateurs de sous-structuration statique, les conditions cinématiques de type "Dirichlet" sont toujours dualisées, jamais éliminées.*

*En général on appliquera les conditions cinématiques sur les **nœuds externes** au niveau supérieur de sous-structuration. Donc ils n'apparaîtront pas dans les charges de lchar.*

*Par contre, les conditions cinématiques qu'il faut donner avant la condensation (lchar) sont celles que l'on ne pourra plus donner après :*

- les conditions impliquant des nœuds internes (ddl imposés ou relations linéaires) car ces nœuds seront éliminés,
- les conditions définies à partir des **bords** des éléments finis (FACE\_IMPO) car ces éléments finis n'existeront plus après la condensation.

### Remarque sur l'argument lchar :

*Les charges qui apparaissent dans la liste lchar, sont celles qui permettent de calculer les matrices de rigidité et de masse :*

- éventuelle charge de température modifiant les caractéristiques de matériau,
- conditions cinématiques (dualisation).

*en revanche, ces charges n'interviennent en rien dans la définition des chargements (seconds membres).*

*Par exemple, les dilatations dues au champ de température ne seront prises en compte dans un cas de charge que si la charge contenant ce champ de température est explicitement donnée dans la définition de ce cas de charge (mots clés CAS\_CHARGE et CHARGE). De la même façon les **conditions cinématiques non nulles** doivent être redonnées dans la définition des cas de charge.*

## 4.1.5 Opérandes NMAX\_CAS / NMAX\_CHAR

◇ NMAX\_CAS = nbcamx

On donne ici un **majorant** du nombre de cas de charge que l'utilisateur va définir sur le macro-élément (Cf argument CAS\_CHARGE). Ce nombre est pris par défaut à 10.

◇ NMAX\_CHAR = nbchmx

On donne ici un **majorant** du nombre de concepts de type charge que l'on affectera à **chaque** cas de charge (Cf argument CAS\_CHARGE). Ce nombre est pris par défaut à 10.

## 4.1.6 Opérande PROJ\_MESU

- ◆ PROJ\_MESU = repgene

repgene désigne le nom du concept issu de la commande PROJ\_MESU\_MODAL [U4.73.01] qui a permis de définir la mesure et la base de projection.

## 4.1.7 Opérande MODE\_MESURE

- ◆ MODE\_MESURE = modemes

On donne ici le nom du concept contenant les modes propres identifiés expérimentalement. Ces modes propres permettent de construire le modèle modal de la structure initiale qui sera ensuite condensé aux noeuds "externes".

## 4.2 Mot clé EXTERIEUR

- ◆ EXTERIEUR =

Ce mot clé facteur (non répétable) sert à définir l'ensemble des noeuds "externes" où seront condensés les matrices et les chargements (les autres noeuds seront dits "internes"). Ce mot clé doit apparaître dans le premier appel à la commande MACR\_ELEM\_STAT (on définit l'extérieur d'un macro-élément en une seule fois).

Chaque noeud externe porte les mêmes degrés de liberté que le noeud correspondant du modèle mo. Un macro-élément est topologiquement (et géométriquement) entièrement défini par l'ensemble de ses noeuds externes.

### 4.2.1 Remarques sur la définition de l'"extérieur" d'un macro élément

- L'extérieur d'un macro-élément est l'ensemble des noeuds "externes" qui définissent la topologie et la géométrie du macro-élément,
- chaque noeud "externe" porte **tous** les degrés de liberté qui existent sur ce noeud dans le modèle sous-jacent. Les macro-éléments produits par Aster ne sont utilisables qu'en recollant leurs noeuds externes et par conséquent tous les degrés de liberté qu'il portent. D'autres codes de calcul opèrent différemment. Pour certaines modélisations (glissement, articulation, ...), on sera conduit à ne pas recoller certains noeuds et à utiliser, au niveau de sous-structuration supérieur, des relations linéaires entre les degrés de liberté des noeuds externes de plusieurs macro-éléments,
- lors de la définition des noeuds externes d'un macro-élément, si un noeud apparaît plusieurs fois, on ne le compte qu'une seule fois,
- pour des raisons de programmation, il faut qu'il existe à la fois des noeuds externes et des noeuds internes : aucune des familles ne peut être vide.

### 4.2.2 Opérandes NOEUD/GROUP\_NO

| NOEUD = l\_noeu

Liste des noms de noeuds que l'on désire "externes".

| GROUP\_NO = l\_grno

Liste des noms des groupes de noeuds que l'on désire "externes".

## 4.3 Mots clés RIGI\_MECA / MASS\_MECA

### ◆ RIGI\_MECA

Ce mot clé sert à préciser que l'on veut condenser la matrice de rigidité.

Cas "sous-structuration statique" :

Cette matrice est calculée sur **tous** les éléments du modèle ainsi que sur les éléments de LAGRANGE des conditions cinématiques contenues dans l'argument de CHAR\_MACR\_ELEM.

Cas "modification structurale" :

La matrice de rigidité condensée est calculée par expansion de la matrice spectrale mesurée aux nœuds "externes".

### ◇ MASS\_MECA

Ce mot clé sert à préciser que l'on veut condenser la matrice de masse.

Cas "sous-structuration statique" :

Cette matrice est calculée sur **tous** les éléments du modèle (condensation de GUYAN).

Cas "modification structurale" :

La matrice de masse condensée est obtenue par expansion de la matrice de masses généralisées mesurées aux nœuds "externes".

## 4.4 Mot clé CAS\_CHARGE.

### ◇ CAS\_CHARGE

Ce mot clé facteur permet de définir un ensemble de cas de charge **nommés** (mot clé NOM\_CAS). Ces cas de charge pourront être appliqués au modèle de niveau supérieur (CALC\_VECT\_ELEM [U4.61.02]).

En général, on cherchera à appliquer les chargements nodaux (FORCE\_NODALE) au niveau supérieur de sous-structuration.

Par contre tous les chargements définis sur les éléments finis doivent être appliqués avant toute condensation : (PESANTEUR, ROTATION, FORCE\_FACE, FORCE\_CONTOUR, FORCE\_INTERNE, FORCE\_COQUE, FORCE\_POUTRE, PRES\_REP, ...) puisque ces éléments finis auront "disparus" après la condensation.

Notons que pour un macro-élément, il n'y a pas de notion de contour, d'orientation, de face, ...

### 4.4.1 Opérande NOM\_CAS

#### ◆ NOM\_CAS = nocas

Le chargement condensé sous le nom `nocas` (entre "quotes") correspond au chargement défini par les arguments de CHARGE et INST auquel on ajoute **systématiquement** les chargements de nom `nocas` éventuellement présents sur les sous structures de niveau inférieur contenues dans le modèle `mo`.

#### 4.4.2 Opérande SUIV

◇ SUIV = 'OUI' / 'NON'

Ce mot clé dit si le cas de charge "suit" le macro-élément dans ses transformations géométriques : translation, rotation, (cf. opérateur `DEFI_MALLAGE` [U4.23.01]). Par exemple, le chargement dû à une rotation (force centrifuge), une pression (ou une dilatation contrariée) est "suiveur" car sa direction est liée à la position de la sous-structure. En revanche, la pesanteur est un chargement "non suiveur" (sa direction est absolue).

**Attention :**

*Les chargements cinématiques sont toujours "suiveurs" car leur prise en compte est faite dans la matrice de rigidité (dualisation) et cette matrice est "suiveuse" par nature.*

#### 4.4.3 Opérands CHARGE / INST

◇ CHARGE = lchar,

◇ INST = tps,

Les mots clés `CHARGE` et `INST` ont la même signification que dans l'opérateur `CALC_VECT_ELEM` [U4.61.02].

## 5 Exemples de définition d'un macro élément

### 5.1 Définir l'extérieur d'un macro-élément

```
sup1 = MACR_ELEM_STAT (
    DEFINITION = _F ( MODELE = mo, CHAM_MATER = chmat ),
    EXTERIEUR = _F ( GROUP_NO = EXT ),
)

sup3 = MACR_ELEM_STAT (
    DEFINITION = _F ( MODELE = mo, CHAM_MATER = chmat ),
    EXTERIEUR = _F ( NOEUD = ('N3', 'N4'), GROUP_NO = ('L1', 'L3') ),
)
```

### 5.2 Condenser des matrices de rigidité et de masse

```
sup1 = MACR_ELEM_STAT (reuse = sup1,
    RIGI_MECA = _F (), MASSE_MECA = _F (),
)
```

### 5.3 Définir un chargement sur le macro-élément

```
sup1 = MACR_ELEM_STAT (reuse = sup1,
    CAS_CHARGE = ( NOM_CAS = 'ch1', CHARGE = ch1 ),
)
```



## 5.4 Définir le macro-élément, ses chargements, et demander la condensation des matrices

```
sup2 =       MACR_ELEM_STAT   (

              DEFINITION     = _F   (   MODELE = mo   ,   CHAM_MATER = chmat),
              EXTERIEUR     = _F   (   GROUP_NO = EXT ),
              RIGI_MECA     = _F   ( ), MASSE_MECA = _F ( ),
              CAS_CHARGE    = _F   (   NOM_CAS = 'chl'   ,   CHARGE = chl ),
                              )
```

## 5.5 Définir un macro-élément pour un calcul de modification structurale et demander la condensation des matrices

```
Sup4 =       MACR_ELEM_STAT   (

              DEFINITION     = _F   (   MODELE = mo   ,   CHAM_MATER = chmat
                              PROJ_MESU=repgene, MODE_MESURE=modemes),
              EXTERIEUR     = _F   (   GROUP_NO = EXT ),
              RIGI_MECA     = _F   ( ), MASSE_MECA = _F ( ),
                              )
```

Page restée intentionnellement blanche