

**Manuel d'Utilisation**  
**Fascicule U4.8- : Post-traitement et analyses dédiées**  
**Document : U4.81.02**

## Opérateur *CALC\_NO*

---

### 1 But

---

Enrichir une structure de données *resultat* par des options de post-traitement. Il s'agit notamment des options forces nodales, réactions d'appui et plus généralement toutes les options de grandeurs élémentaires aux nœuds (options *xxxx\_NOEU\_xxxx*) transformant un *cham\_elem* aux nœuds en un *chamno*.

Le concept résultat est réentrant.

## 2 Syntaxe

```

resu      [*]      = CALC_NO

(  ◇  reuse= resu,
    ◆  RESULTAT      =  resu,          /[evol_elas]      /  [mode_stat_depl]
                                     /[evol_noli]      /  [mode_stat_acce]
                                     /[evol_ther]      /  [mode_stat_forc]
                                     /[mult_elas]      /  [mode_stat]
                                     /[fourier_elas]   /  [mode_acou]
                                     /[mode_flamb]     /  [dyna_trans]
                                     /[base_modale]    /  [dyna_harmo]
                                     /[mode_meca]      /  [acou_harmo]

    ◇  SENSIBILITE   =  (... voir [U4.50.02])
    ◇  /  TOUT_ORDRE  =  'OUI' ,          [DEFAULT]
    /  NUME_ORDRE    =  l_nuor ,          [l_I]
    /  LIST_ORDRE    =  l_ordr ,          [listis]
    /  NOEUD_CMP     =  l_mode ,          [l_Kn]
    /  NUME_MODE     =  l_numo ,          [l_I]
    /  NOM_CAS       =  nomcas ,          [Kn]
    /  /  INST       =  l_inst ,          [l_R]
    /  LIST_INST     =  l_inst ,          [listr8]
    /  FREQ          =  l_freq ,          [l_R]
    /  LIST_FREQ     =  l_freq ,          [listr8]
    ◇  |  PRECISION  =  /  prec ,          [R]
                                     /  1.0D-3 ,          [DEFAULT]
    |  CRITERE       =  /  'RELATIF' ,          [DEFAULT]
                                     /  'ABSOLU' ,
    ◆  OPTION :      |  |  'FORC_NODA' ,
                      |  |  'REAC_NODA' ,
                      ◆  MODELE =          modele ,          [modele]
    ◇  CHAM_MATER    =  chmater ,          [cham_mater]
    ◇  CARA_ELEM     =  carac ,          [cara_elem]
    ◇  EXCIT  =_F (
        ◇  CHARGE      =  charge ,      /  [char_meca]
                                           /  [char_ther]
                                           /  [char_acou]
        ◇  FONC_MULT   =  coef ,          [fonction]
        ◇  TYPE_CHARGE =  /  'FIXE_CSTE' [DEFAULT]
                                           /  'FIXE_PIL0'
                                           /  'SUIV'
        ) ,
    ◇  /  TOUT        =  'OUI' ,
    /  MAILLE        =  lma ,          [l_maille]
    /  GROUP_MA      =  lgma ,          [l_gr_maille]

    |  |  'EFGE_NOEU_DEPL' ,
    |  |  'EFGE_NOEU_CART' ,
    |  |  'EPSI_NOEU_DEPL' ,
    |  |  'SIGM_NOEU_DEPL' ,
    |  |  'SIGM_NOEU_CART' ,
    |  |  'SIPO_NOEU_DEPL' ,
    |  |  'EQUI_NOEU_SIGM' ,
    |  |  'EQUI_NOEU_EPSI' ,
    |  |  'EQUI_NOEU_EPME' ,
    |  |  'FLUX_NOEU_TEMP' ,
    |  |  'SIEF_NOEU_ELGA' ,
    |  |  'VARI_NOEU_ELGA' ,
    |  |  'PRES_NOEU_DBEL' ,
    |  |  'PRES_NOEU_REEL' ,

```

```

| 'PRES_NOEU_IMAG' ,
| 'INTE_NOEU_ACTI' ,
| 'INTE_NOEU_REAC' ,
| 'META_NOEU_TEMP' ,
| 'DCHA_NOEU_SIGM' ,
| 'RADI_NOEU_SIGM' ,
| 'ENDO_NOEU_SINO' ,
| 'ERRE_NOEU_ELGA' ,
| 'DEGE_NOEU_DEPL' ,
| 'SIRE_NOEU_DEPL' ,
| 'EPSG_NOEU_DEPL' ,
| 'DURT_NOEU_META' ,
| 'DETE_NOEU_DLTE' ,
| 'ENEL_NOEU_ELGA' ,
| 'SIGM_NOEU_ZAC' ,
| 'EPSP_NOEU_ZAC' ,
| 'PMPB_NOEU_SIEF' ,
| 'EPMG_NOEU_DEPL' ,
| 'DEDE_NOEU_DLDE' ,
| 'DESI_NOEU_DLSI' ,
| 'EPSP_NOEU' ,
| 'EPSA_NOEU' ,
| 'HYDR_NOEU_ELGA' ,
| 'SIGM_NOEU_COQU' ,
| 'SIGM_NOEU_SIEF' ,
| 'SIPO_NOEU_SIEF' ,
| 'VARI_NOEU' ,
| 'SIEF_NOEU' ,
)
Si RESULTAT : [typeres] alors [*] -> [typeres]

```

## 3 Opérandes

### 3.1 Opérande RESULTAT

- ♦ `RESULTAT = resu`

Nom du résultat enrichi dans la commande.

### 3.2 Opérande SENSIBILITE

- ◇ `SENSIBILITE= (....)`

Ce mot-clé est suivi d'une liste de paramètres sensibles. Il précise que l'on ne s'intéresse pas au résultat en lui-même mais à la dérivée du résultat par rapport à un paramètre. Ainsi une séquence de ce type :

`RESULTAT = resu, SENSIBILITE = (ps), OPTION = ('SIEF_NOEU_ELGA')`

signifie que l'on veut calculer aux nœuds la dérivée des contraintes par rapport au paramètre `ps`.

Voir [U4.50.02] pour les détails sur les paramètres associés au mot-clé.

### 3.3 Opérandes `TOUT_ORDRE / NUME_ORDRE / LIST_ORDRE / NUME_MODE / NOEUD_CMP / NOM_CAS / INST / LIST_INST / FREQ / LIST_FREQ / PRECISION / CRITERE`

Voir [U4.71.00] pour la description de ces opérandes.

### 3.4 Opérande OPTION : `'FORC_NODA' / 'REAC_NODA'`

- ♦ `OPTION = 'FORC_NODA'`

Option de calcul des forces nodales à partir des contraintes aux points de GAUSS.

Le calcul se fait de la façon suivante :

$$\int_{\Omega} \sigma \varepsilon(u) d\Omega = \sum_K \int_K \sigma^K \varepsilon(u_K) dK = \sum_K \int_K \sigma^K B u_K dK$$

avec  $\sigma^K$  : contraintes aux points de Gauss de l'élément  $K$

$u_K$  : déplacement élémentaire

$$= \sum_K F_K u_K \quad \text{avec} \quad F_K = \left\{ \int_K {}^t B \sigma^K dK \right\}$$

où  $B$  est la matrice reliant les déformations du 1<sup>er</sup> ordre aux déplacements.

Voir également le document [U2.01.05].

Pour les éléments de poutre, les contraintes aux points de GAUSS sont en fait les efforts nodaux dans le repère de l'élément (obtenus par le produit de la matrice de rigidité de l'élément par le déplacement et en tenant compte des efforts d'origine thermique et des efforts répartis). Le calcul des forces nodales se fait en projetant les efforts nodaux contenus dans le champ de nom symbolique `'SIEF_ELGA_DEPL'` dans le repère global. La sommation ci-dessus sur les éléments s'applique ensuite.

La présence du champ de nom symbolique `'SIEF_ELGA_DEPL'` ou `'SIEF_ELGA'` est obligatoire dans le concept résultat `resu`. On récupère également le nom du modèle sous-jacent à ce champ.

♦ `OPTION = 'REAC_NODA'`

Option de calcul des forces nodales de réactions aux nœuds, à partir des contraintes aux points de GAUSS.

Pour les concepts résultat de type `evol_elas`, `mult_elas`, `fourier_elas` ou `evol_noli`, ce calcul se fait par la formule :

$$\int_{\Omega} \sigma \varepsilon(u) d\Omega - L(u)$$

avec  $L(u) = \int_{\Omega} f \cdot u \, d\Omega + \int_{\Gamma} F \cdot u \, d\Gamma + \sum_i F_i$

où  $f$  sont les forces volumiques

$F$  les forces surfaciques

$F_i$  les forces ponctuelles au nœud  $i$

Si on note  $R_K$  le vecteur réactions nodales sur l'élément  $K$ , on a :

$$R_K = F_K - \int_K f dK - \int_{\partial K} F \partial K - \sum_{i \in K} F_i$$

autrement dit on retranche aux forces nodales les forces extérieures appliquées à l'élément  $K$ .

A noter que le changement température ne figure pas dans les forces extérieures.

Pour les concepts résultat de type `mode_meca`, la formule est :

$$\int_{\Omega} \sigma \varepsilon(u) d\Omega - \omega^2 M u$$

où  $M$  est la matrice de masse

$\omega$  la pulsation propre

$u$  le champ de déplacement

Voir également le document [U2.01.05] et les exemples [§3.4.6].

**3.4.1 Opérande MODELE**♦ `MODELE = mo,`

Nom du modèle sur lequel sont calculées les options.

**3.4.2 Opérande CHAM\_MATER**◇ `CHAM_MATER = chmater,`

Nom du champ de matériau où sont définies les caractéristiques de matériau des éléments. Cet argument est nécessaire pour le calcul des réactions (option 'REAC\_NODA'), qui nécessite le calcul préalable du vecteur élémentaire des chargements.

**3.4.3 Opérande CARA\_ELEM**◇ `CARA_ELEM = carac,`

Le concept des caractéristiques élémentaires de type `cara_elem` est nécessaire pour le calcul des forces nodales ou des réactions, s'il existe dans le modèle des éléments de structure.

## 3.4.4 Opérande EXCIT

◇ EXCIT = \_F      Pour le calcul de REAC\_NODA uniquement :

Mot clé facteur permettant de définir les différents chargements qui ont permis de calculer le champ de contraintes aux points de GAUSS.

On définit un concept de type charge par occurrence du mot clé EXCIT.

### 3.4.4.1 Opérande CHARGE

◇ CHARGE = charge,

Nom d'un concept de type charge, pour le calcul du vecteur élémentaire associé. Nécessaire pour le calcul des réactions nodales.

### 3.4.4.2 Opérande FONC\_MULT

◇ FONC\_MULT = coef,

Nom d'un concept de type fonction fournissant la valeur du facteur multiplicateur de la charge.

### 3.4.4.3 Opérande TYPE\_CHARGE

◇ TYPE\_CHARGE =      /    'FIXE\_CSTE',    charge fixe (défaut)  
                             /    'FIXE\_PILO',    charge pilotée (amplitude réelle stockée  
   dans la SD evol\_noli)  
                             /    'SUIV',      charge suiveuse

Dans le cas où le résultat provient d'un calcul non linéaire avec pilotage, il faut pour calculer l'option REAC\_NODA, indiquer sous EXCIT à la fois les charges fixes de type ('FIXE\_CSTE') et les charges pilotées de type ('FIXE\_PILO'). En effet, l'amplitude  $\eta$  de ces dernières est un paramètre de la SD evol\_noli et sera récupéré par le code afin de reconstruire le vrai chargement :

$$L(v) = L^{fixe} + \eta L^{pilo} \text{ (cf. document [R5.03.01] de l'opérateur STAT_NON_LINE).}$$

Pour éviter de se poser des questions, on suggère de recopier dans CALC\_NO le bloc EXCIT ayant été utilisé pour le calcul non linéaire ayant produit le résultat : ainsi on est sûr de ne pas oublier de charges.

## 3.4.5 Opérandes TOUT / GROUP\_MA / MAILLE

◇ TOUT = 'OUI' ,

Les options sont calculées sur tout le maillage.

◇ GROUP\_MA = lgma ,

Les options sont calculées sur les groupes de mailles contenus dans la liste lgma.

◇ MAILLE = lma ,

Les options sont calculées sur les mailles contenues dans la liste lma.

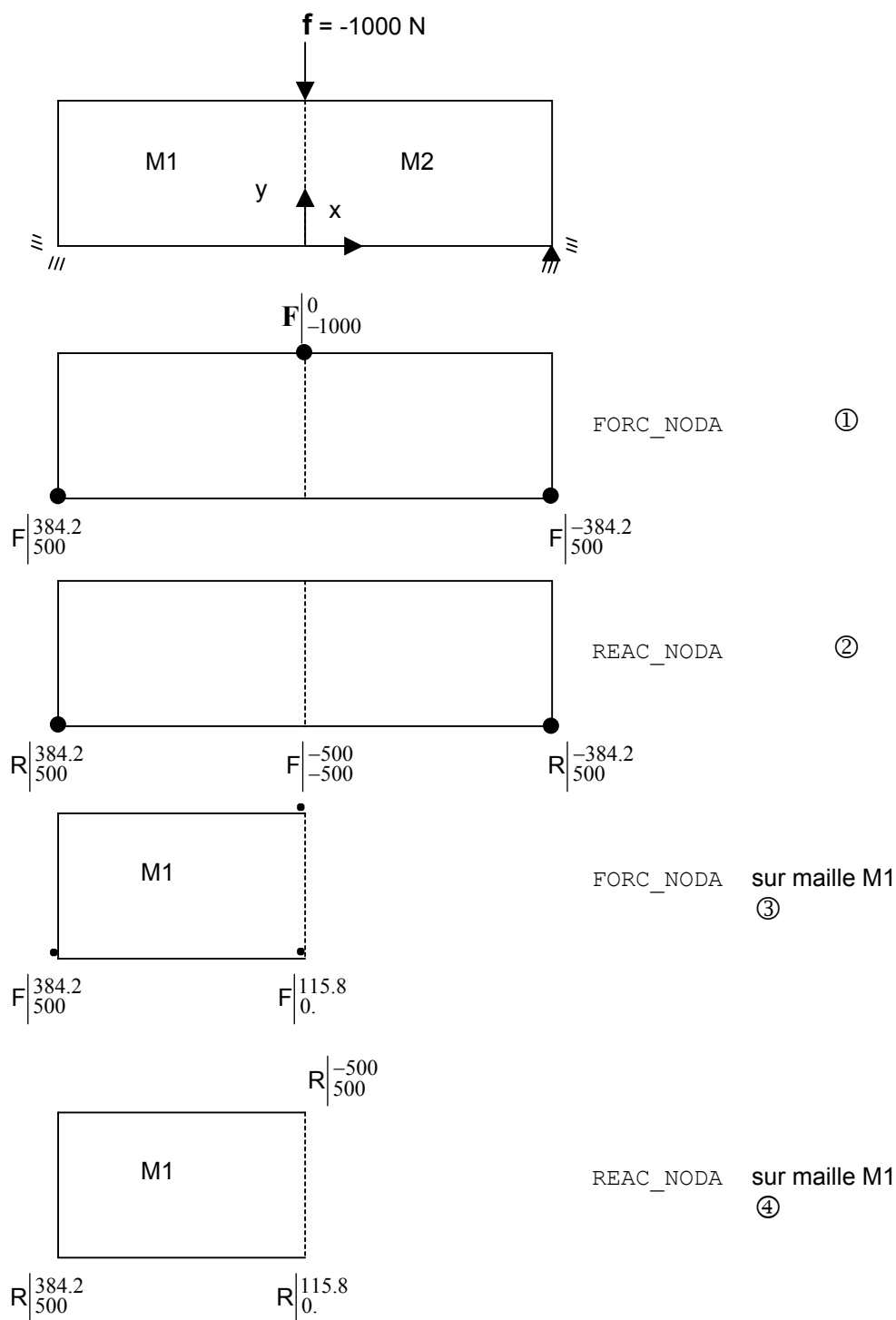
### Remarque :

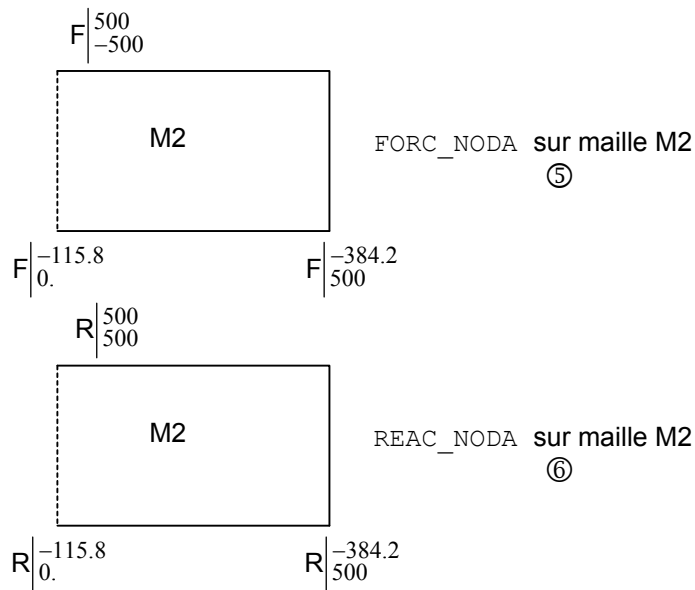
*Si le mot clé GROUP\_MA est renseigné, les options 'FORC\_NODA' et 'REAC\_NODA' sont calculées ainsi :*

*$F_K$  est calculé uniquement sur les éléments demandés puis assemblé. Le résultat est différent d'un calcul global sur tout le domaine puis réduit aux éléments demandés. La méthode implantée permet de mesurer la réaction d'un morceau de modèle sur un autre (voir exemples [§3.4.6]).*

## 3.5 Exemples

### 3.5.1 Exemple 1 : Structure chargée avec force nodale f (2 éléments QUAD4)



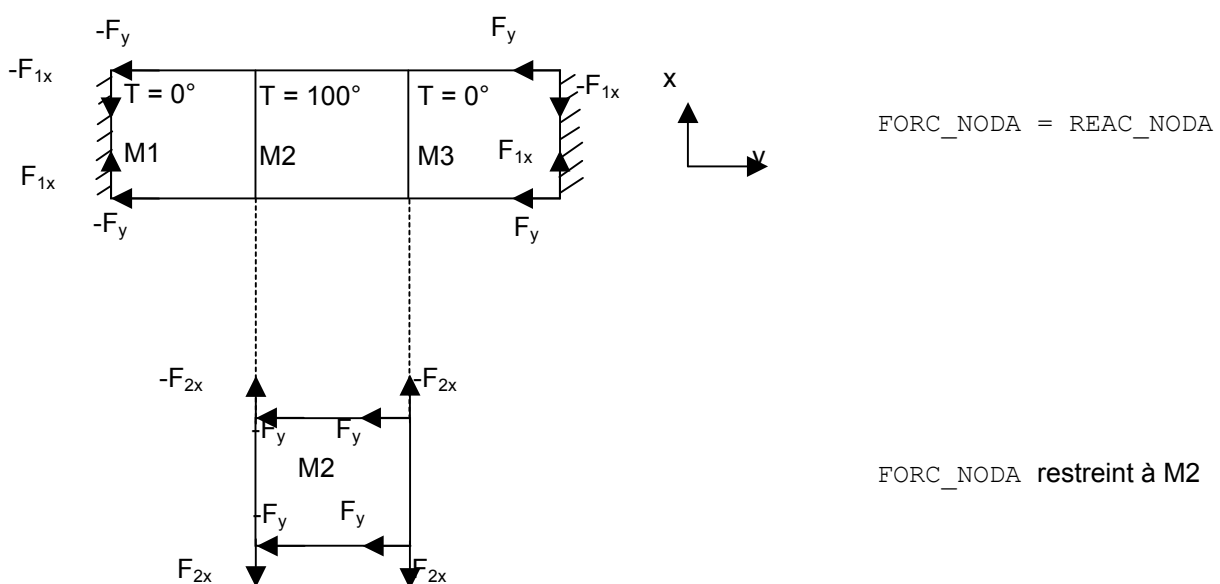


Sur cet exemple, les réactions aux nœuds ② sont bien égales aux forces nodales ① moins le chargement. Elles représentent les réactions aux appuis de la structure.

Si on restreint le calcul à la maille M1, les forces ③ aux nœuds appartenant à la frontière entre M1 et M2 sont différentes. Elles représentent la réaction du modèle formé de M1 au modèle formé de M2. A noter que le chargement nodal est divisé par 2 car les 2 mailles y contribuent. Les réactions nodales ④ sont encore égales aux forces nodales moins le chargement.

Sur le calcul restreint à la maille M2, les forces nodales ⑤ suivant  $ox$  sont de signe contraire au calcul restreint à la maille M1, illustrant le principe de l'action et la réaction.

## 3.5.2 Exemple 2 : Structure avec chargement température





Données :  $E = 1.10^9 Pa$   
 $\nu = 0.3$   
 $\alpha = 1.10^{-6}$

Résultats :  $F_y = -3.4 \cdot 10^4 N$   
 $F_{1x} = 7.8 \cdot 10^3 N$   
 $F_{2x} = -1.2 \cdot 10^3 N$

Sur cet exemple, les forces nodales et les réactions nodales coïncident car le seul chargement est un chargement température.

Si on restreint le calcul à la maille M2, les forces suivant OY restent les mêmes mais sont différentes suivant OX.

### 3.6 Opérande OPTION

Les options de calcul transformant un champ par élément aux nœuds en un champ aux nœuds, en faisant une moyenne arithmétique simple (non pondérée par la taille des mailles) des valeurs rencontrées sur les éléments en un nœud donné. Ces champs par éléments aux nœuds doivent avoir été calculés auparavant et donc figurer dans l'objet `resu`.

Les commandes calculant et documentant ces champs sont :

CALC\_ELEM [U4.81.01] pour les champs relatifs aux options :

'DCHA_NOEU_SIGM'	'HYDR_NOEU_ELGA'
'DEGE_NOEU_DEPL'	'INTE_NOEU_ACTI'
'DEDE_NOEU_DLDE'	'INTE_NOEU_REAC'
'DETE_NOEU_DLTE'	'PMPB_NOEU_SIEF'
'DESI_NOEU_DLSI'	'PRES_NOEU_DBEL'
'DURT_NOEU_META'	'PRES_NOEU_REEL'
'EFGE_NOEU_CART'	'PRES_NOEU_IMAG'
'EFGE_NOEU_DEPL'	'RADI_NOEU_SIGM'
'ENEL_NOEU_ELGA'	'SIGM_NOEU_CART'
'ENDO_NOEU_SINO'	'SIGM_NOEU_COQU'
'EPMG_NOEU_DEPL'	'SIGM_NOEU_DEPL'
'EPSI_NOEU_DEPL'	'SIGM_NOEU_SIEF'
'EPSG_NOEU_DEPL'	'SIPO_NOEU_DEPL'
'EPSA_NOEU'	'SIPO_NOEU_SIEF'
'EPSP_NOEU'	'SIRE_NOEU_DEPL'
'EQUI_NOEU_EPSI'	
'EQUI_NOEU_EPME'	
'EQUI_NOEU_SIGM'	
'ERRE_NOEU_ELGA'	
'FLUX_NOEU_TEMP'	

STAT\_NON\_LINE [U4.51.03] pour les champs relatifs aux options :

'VARI_NOEU'	'VARI_NOEU_ELGA'
'SIEF_NOEU'	'SIEF_NOEU_ELGA'

POST\_ZAC [U4.83.21] pour les champs :

'EPSP_NOEU_ZAC'
'SIGM_NOEU_ZAC'

CALC\_META [U4.85.01] pour le champ :

'META_NOEU_TEMP'
------------------

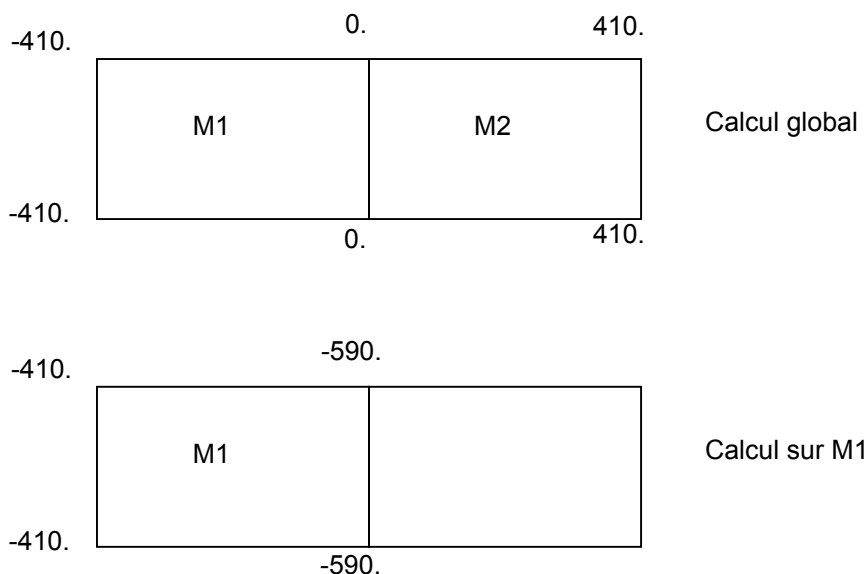
## Remarque 1 :

Les moyennations aux nœuds de champs calculés dans des repères locaux ne sont licites que si les angles entre ces repères sont faibles. Dans le cas contraire, elles n'ont pas de sens.

## Remarque 2 :

Les mot clés `GROUP_MA` et `MAILLE` s'appliquent également au calcul de ces options. Dans ce cas, la moyenne arithmétique est faite sur les mailles demandées. Là encore, le calcul local est différent du calcul global.

Exemple : en reprenant l'exemple 1 du [§3.4.6], la contrainte de cisaillement  $\sigma_{xy}$  vaut :



Dans le calcul global,  $\sigma_{xy}$  est nulle sur  $M1 \wedge M2$  comme moyenne de 2 valeurs opposées. Ces valeurs sont loin d'être nulles, comme le montre le calcul sur M1 seul. Les valeurs sur la frontière du domaine demandé sont donc à interpréter avec précaution.

## 4 Éléments concernés

Pour chaque modélisation, la liste des options calculables par `CALC_NO` est fournie dans les documents [U3.11.XX] à [U3.33.XX] dans le paragraphe post-traitement du calcul.