# Architecture THM. Intégration des équations d'équilibre

**Résumé :**

Cette note présente les arguments et variables informatiques utilisés dans les routines THM. Cette note commence par une présentation sommaire des équations, qui ne se substitue pas à la doc.R, seule référence dans le domaine.



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# Table des matières

1Écritures variationnelles des équations d'équilibre....4
1.1Mécanique....4
1.2Hydraulique....4
1.3Thermique....6
2Lois de comportement....7
2.1Mécanique....7
2.1.1Ecriture générale....7
2.1.2Cas des contraintes effectives....7
2.1.3Choix des contraintes....7
2.2Hydraulique....8
2.3Thermique....8
2.4Masse volumique homogénéisée....8
3Efforts généralisés....8
4Algorithme de résolution....9
4.1Algorithme non linéaire de résolution des équations d'équilibre....9
4.2Boucle sur les éléments, les points de Gauss....10
4.3Vecteurs et matrices selon les options : routine EQUTHM....13
4.3.1Résidu ou force nodale : options RAPH_MECA et FULL_MECA....14
4.3.2Chargement : options CHAR_MECA....15
4.3.3Opérateur tangent : options FULL_MECA, RIGI_MECA_TANG....15
5Schéma général....20
6Spécifications du sous programme générique EQUTHM....21
6.1Arguments de la routine....21
6.2Adressage dans les tableaux de déformation et contrainte....23
6.2.1Adressage dans les déformations....23
6.2.1.1Déformations temps moins....23
6.2.1.2Déformations temps plus....23
6.2.2Adressage dans les contraintes....24
6.2.2.1Contraintes temps moins....24
6.2.2.2Contraintes temps plus....24
6.2.3Adressage dans les variables internes (exemple)....24
6.2.3.1Variables internes au temps moins....24
6.2.3.2Variables internes au temps plus....24
6.3Adressage R, DRDS, DSDE....25
6.3.1Adressage dans R....25
6.3.2Adressage dans DRDS....25
6.3.3Adressage dans DSDE....26



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6.4Algorithme routine EQUTHM....31
6.5Arguments de la routine d'appel des lois de comportement....35
7Éléments finis en THM....38
7.1Attributs dans les catalogues....38



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 1 Écritures variationnelles des équations d'équilibre

## 1.1 Mécanique

On part de l'écriture différentielle suivante :

$$\mathrm{Div}\,\sigma + r\,\mathbf{F}^m = 0 \qquad \text{éq 1.1-1}$$

Nous verrons plus loin que nous adoptons toujours la décomposition $\sigma = \sigma' + \sigma_p I$ , où $\sigma'$ désigne la contrainte effective.

C'est donc à la charge du module d'intégration des équations d'équilibre de faire la somme : $\sigma = \sigma' + \sigma_p I$ .
On écrira alors une forme variationnelle de [éq 1.1-1] au temps $t^+$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma^+ = \sigma'^+ + \sigma_p^+ I \\ \int_\Omega \sigma^+ . \varepsilon(\mathbf{v}) = \int_\Omega r^+ \mathbf{F}^{m^+} . \mathbf{v} + \int_{\partial\Omega} \mathbf{f}^{ext^+} . \mathbf{v} \qquad \forall \mathbf{v} \in U_{ad} \end{array} \right. \qquad \text{éq 1.1-2}$$

## 1.2 Hydraulique

On part de l'écriture différentielle suivante :

$$\frac{dm}{dt} + \mathrm{Div}(\mathbf{M}) = 0 \qquad \text{éq 1.2-1}$$

On considère qu'il peut y avoir deux constituants, et pour chacun d'eux deux phases.

Plus précisément, les variables $m_{1,}\mathbf{M}_1$ et $m_{2,}\mathbf{M}_2$ se rapportent chacune à un constituant de masse conservative.

On pose par principe :

$$m_1 = m_1^1 + m_1^2 ; \qquad \mathbf{M}_1 = \mathbf{M}_1^1 + \mathbf{M}_1^2$$
$$m_2 = m_2^1 + m_2^2 ; \qquad \mathbf{M}_2 = \mathbf{M}_2^1 + \mathbf{M}_2^2$$

Ce que nous écrirons :

$$m_{constituant} = \sum_{nb\ phase\ du\ constituant} m_{constituant}^{phase}$$
$$\mathbf{M}_{constituant} = \sum_{nb\ phase\ du\ constituant} \mathbf{M}_{constituant}^{phase}$$

Dans les applications, on pourrait par exemple avoir :

2 constituants : air et eau
2 phases pour l'eau
1 phase pour l'air



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

On aurait alors : $m_1^1 et \mathbf{M}_1^1$ : apport de masse et flux d'eau liquide
$m_1^2 et \mathbf{M}_1^2$ : apport de masse et flux de vapeur
$m_2^1 et \mathbf{M}_2^1$ : apport de masse et flux d'air sec
$m_2^2 et \mathbf{M}_2^2$ : inexistants

On considère qu'il y a deux pressions. Aucune hypothèse n'est faite sur ce que signifient les pressions $p_1 et\, p_2$ , cela dépendra des lois de comportement et de la façon que l'on choisira de les écrire : on pourrait par exemple choisir :

$$p_1 = pression\, capillaire\left(p\left(gaz\right) - p\left(liquide\right)\right)$$
$$p_2 = pression\, de\, gaz\left(vapeur + gaz\right)$$

On écrira alors une forme variationnelle de [éq 1.2-1].

$$-\int_\Omega d\frac{\left(m_1^1+m_1^2\right)}{dt}\pi_1+\int_\Omega\left(\mathbf{M}_1^1+\mathbf{M}_1^2\right).\nabla\pi_1=\int_{\partial\Omega}\left(\mathbf{M}_{1\text{ext}}^1+\mathbf{M}_{1\text{ext}}^2\right).\pi_1 \qquad \forall\,\pi_1\in P_{1\text{ad}} \quad \text{éq 1.2-2}$$

$$-\int_\Omega d\frac{\left(m_2^1+m_2^2\right)}{dt}\pi_2+\int_\Omega\left(\mathbf{M}_2^1+\mathbf{M}_2^2\right).\nabla\pi_2=\int_{\partial\Omega}\left(\mathbf{M}_{2\text{ext}}^1+\mathbf{M}_{2\text{ext}}^2\right).\pi_2 \qquad \forall\,\pi_2\in P_{1\text{ad}} \quad \text{éq 1.2-3}$$

Après discrétisation par une theta méthode :

$$\begin{aligned}-\int_\Omega\left(m_1^{1+}+m_1^{2+}\right)\pi_1+\theta\Delta t\int_\Omega\left(\mathbf{M}_1^{1+}+\mathbf{M}_1^{2+}\right).\nabla\pi_1=&\\ -\int_\Omega\left(m_1^{1-}+m_1^{2-}\right)\pi_1-\left(1-\theta\right)\Delta t\int_\Omega\left(\mathbf{M}_1^{1-}+\mathbf{M}_1^{2-}\right).\nabla\pi_1&\\ +\Delta t\int_{\partial\Omega}\left(\mathbf{M}_{1\,ext}^{1\theta}+\mathbf{M}_{1\text{ext}}^{2\theta}\right).\pi_1 \qquad \forall\,\pi_1\in P_{1\text{ad}}&\end{aligned} \quad \text{éq 1.2-4}$$

$$\begin{aligned}-\int_\Omega\left(m_2^{1+}+m_2^{2+}\right)\pi_2+\theta\Delta t\int_\Omega\left(\mathbf{M}_2^{1+}+\mathbf{M}_2^{2+}\right).\nabla\pi_2=&\\ -\int_\Omega\left(m_2^{1-}+m_2^{2-}\right)\pi_2-\left(1-\theta\right)\Delta t\int_\Omega\left(\mathbf{M}_2^{1-}+\mathbf{M}_2^{2-}\right).\nabla\pi_2&\\ +\Delta t\int_{\partial\Omega}\left(\mathbf{M}_{2\,ext}^{1\theta}+\mathbf{M}_{2\text{ext}}^{2\theta}\right).\pi_2 \qquad \forall\,\pi_2\in P_{2\text{ad}}&\end{aligned} \quad \text{éq 1.2-5}$$

**Remarque :**

*Dans le cadre de la modélisation HM permanente saturée, le terme* $\frac{dm_1^1}{dt}$ *disparaît de l'écriture de la conservation de la masse fluide. Cette dernière s'écrit simplement :*

$$\mathrm{Div}\left(\mathbf{M}_1^1\right)=0$$

*La forme variationnelle correspondante s'écrit :*

$$\int_\Omega\mathbf{M}_1^1.\nabla\pi_1=\int_{\partial\Omega}\mathbf{M}_{1\text{ext}}^1.\pi_1 \quad \forall\,\pi_1\in P_{1\text{ad}}$$



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

## 1.3 Thermique

Nous introduisons les enthalpies de chaque phase de chaque constituant : $h_{c\ m}^{p}$

Nous notons : $np_c$ le nombre de phases du constituant c.

Nous adoptons la règle de sommation des indices muets :

$$h_{c\ m}^{p}\mathbf{M}_c^p=\sum_{i=1}^{np_c} h_{cm}^{i}\mathbf{M}_c^i \qquad h_{c\ m}^{p}\frac{dm_c^p}{dt}=\sum_{i=1}^{np_c} h_{cm}^{i}\frac{dm_c^i}{dt}$$

L'équation de thermique (ou d'énergie) s'écrit :

$$\frac{dQ'}{dt}+h_{c\ m}^{p}\frac{dm_c^p}{dt}+\mathrm{Div}\left(h_{c\ m}^{p}\mathbf{M}_c^p+\mathbf{q}\right)=R+\mathbf{M}_c^p.\mathbf{F}^m \quad \text{éq 1.3-1}$$

On écrira alors une forme variationnelle de [éq 1.3-1] sans y injecter l'équation d'équilibre hydraulique :

$$\int_\Omega \frac{dQ'}{dt}\tau+\int_\Omega h_{c\ m}^{p}\frac{dm_c^p}{dt}\tau-\int_\Omega\left(h_{c\ m}^{p}\mathrm{M}_c^p+\mathrm{q}\right).\nabla\tau=\int_\Omega\left(R+\mathrm{M}_c^p.\mathrm{F}\right)\tau-\int_{\partial\Omega}\left(h_{c\ m}^{p}\mathrm{M}_{c\,ext}^{p}+\mathrm{q}_{ext}\right).\tau \quad \forall\tau\in T_{ad}$$

éq1.3-2

La discrétisation de [éq 1.3-2] par theta méthode conduit à :

$$\begin{aligned}&\int_\Omega\left(Q'^{+}-Q'^{-}\right)\tau-\theta\Delta t\int_\Omega\left(\left(h_{c\ m}^{p^+}\mathbf{M}_c^{p^+}+\mathbf{q}^{+}\right)\right)\nabla\tau(1-\theta)\Delta t\int_\Omega\left(\left(h_{c\ m}^{p^-}\mathbf{M}_c^{p^-}+\mathbf{q}^{-}\right)\right)\nabla\tau+\ldots\\&+\theta\int_\Omega h_{c\ m}^{p^+}\left(m_{c\ m}^{p^+}-m_{c\ m}^{p^-}\right)\tau+(1-\theta)\int_\Omega h_{c\ m}^{p^-}\left(m_{c\ m}^{p^+}-m_{c\ m}^{p^-}\right)\tau\ =\\&\theta\Delta t\int_\Omega\mathbf{M}_c^{p^+}.\mathbf{F}^m\tau+(1-\theta)\Delta t\int_\Omega\mathbf{M}_c^{p^-}.\mathbf{F}^m\tau+\Delta t\int_\Omega R^\theta\tau-\Delta t\int_\Omega\left(h_{c\ m}^{p}\mathbf{M}_{ext}^{p\theta}+\mathbf{q}_{ext}^{\theta}\right).\tau\quad\forall\tau\in T_{ad}\end{aligned}$$

éq 1.3-3

On remarque dans l'équation [éq 1.3-3] un terme d'apport de chaleur par le flux de fluide au bord du domaine : $\int_{\partial\Omega}\left(h_{c\ m}^{p}\mathbf{M}_{c\,ext}^{p\theta}+\mathbf{q}_{ext}^{\theta}\right).\tau$ .

On pourra en fait considérer que les conditions de flux thermiques définissent directement :

$$\tilde{\mathbf{q}}_{ext}^{\ \theta}=h_{c\ m}^{p}\mathbf{M}_{c\,ext}^{p\theta}+\mathbf{q}_{ext}^{\theta}$$



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 2 Lois de comportement

## 2.1 Mécanique

### 2.1.1 Ecriture générale

$$\begin{cases}\sigma^{+}=\sigma^{+}(\varepsilon^{+},p_1^{+},p_2^{+},T^{+};\varepsilon^{-},p_1^{-},p_2^{-},T^{-},\sigma^{-},\chi^{-})\\ \chi^{+}=\chi^{+}(\varepsilon^{+},p_1^{+},p_2^{+},T^{+};\varepsilon^{-},p_1^{-},p_2^{-},T^{-},\sigma^{-},\chi^{-})\end{cases}$$ éq 2.1.1-1

### 2.1.2 Cas des contraintes effectives

Dans le cas de l'hypothèse des contraintes effectives, cette fonction se décomposera sous la forme :

$\sigma=\sigma'+\sigma_p I$
$\sigma'$ est le tenseur des contraintes effectives:
$\sigma_p$ est un scalaire

$$\begin{cases}\sigma'^{+}=\sigma'^{+}(\varepsilon^{+},T^{+};\varepsilon^{-},T^{-},\sigma'^{-},\chi_\sigma^{-})\\ \chi_\sigma^{+}=\chi_\sigma^{+}(\varepsilon^{+},T^{+};\varepsilon^{-},T^{-},\sigma'^{-},\chi_\sigma^{-})\end{cases}$$ éq 2.1.2-1

$$\begin{cases}\sigma_p^{+}=\sigma_p^{+}(p_1^{+},p_2^{+};p_1^{-},p_2^{-},\chi_H^{-})\\ \chi_H^{+}=\chi_H^{+}(p_1^{+},p_2^{+};p_1^{-},p_2^{-},\chi_H^{-})\end{cases}$$ éq 2.1.2-2

On remarque que dans cette décomposition :

1) la dépendance par rapport à la thermique a été laissée dans les contraintes effectives ; typiquement, on pense que les lois sur les contraintes effectives s'écrivent comme en thermo mécanique classique :

$$\sigma'^{+}=\sigma'^{+}(\varepsilon^{+}-\alpha^{+}T^{+};\varepsilon^{-}-\alpha^{-}T^{-},\sigma'^{-},\chi_\sigma^{-})$$

1) on a distingué les variables internes relatives à la loi de comportement sur les contraintes effectives, que l'on a écrites $\chi_\sigma$, les variables internes d'origine hydraulique que l'on a écrites $\chi_H$ et les variables internes d'origine thermique que l'on a écrites $\chi_T$ (voir paragraphes suivants).

### 2.1.3 Choix des contraintes

Du fait de l'utilisation assez fréquente de l'hypothèse des contraintes effectives, on décide que le vecteur des contraintes pour la partie mécanique contient dans tous les cas le tenseur des contraintes effectives $\sigma'$ et le scalaire $\sigma_p$. Dans le cas général où l'hypothèse des contraintes effectives n'est pas retenue, on aura simplement : . $\sigma_p=0$

C'est donc à la charge du module d'intégration des équations d'équilibre de faire la somme : $\sigma=\sigma'+\sigma_p I$ .



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

## 2.2 Hydraulique

La loi de comportement hydraulique fournira les relations suivantes :

$$\left\{\begin{array}{l} m_c^{p+}=m_c^{p+}\left(\varepsilon^+, p_1^+, p_2^+, T^+; \varepsilon^-, p_1^-, p_2^-, T^-, m_d^{q-}, \mathbf{M}_d^{q-}, \chi_H^-\right) \\ \mathbf{M}_c^{p+}=\mathbf{M}_c^{p+}\left(\begin{array}{l}\varepsilon^+, p_1^+, \nabla p_1^+, p_2^+, \nabla p_2^+, T^+, \nabla T^+; \\ \varepsilon^-, p_1^-, \nabla p_1^-, p_2^-, \nabla p_2^-, T^-, \nabla T^-, \mathbf{M}_d^{q-}, \chi_H^-: \mathbf{F}^{m+}\end{array}\right) \\ \chi_H^+=\chi_H^+\left(\varepsilon^+, p_1^+, p_2^+, T^+; \varepsilon^-, p_1^-, p_2^-, T^-, m_1^-, m_2^-, \chi_H^-\right) \end{array}\right\} \forall c \text{ et } \forall p \quad de\ 1 \text{ à } np_c$$ éq 2.2-1

On remarque que le champ de gravité est une donnée de la loi de comportement hydraulique par ce que l'évolution du vecteur de flux suit des relations du type : $\mathbf{M}=\lambda_H \rho^{fl}\left[-\nabla P+\rho^{fl}\mathbf{F}^m\right]$ .

## 2.3 Thermique

Les lois de comportement fourniront :

$$\left\{\begin{array}{l} Q'^+=Q'^+\left(\varepsilon^+, p_1^+, p_2^+, T^+; \varepsilon^-, p_1^-, p_2^-, T^-, S'^-\right) \\ h_{c\ m}^{p+}=h_{c\ m}^{p+}\left(\varepsilon^+, p_1^+, p_2^+, T^+; \varepsilon^-, p_1^-, p_2^-, T^-, s_{dm}^{q-}\right) \quad \forall c \quad et \quad \forall p \quad de\ 1 \text{ à } np_c \\ \mathbf{q}^+=\mathbf{q}^+\left(\varepsilon^+, p_1^+, p_2^+, T^+, \nabla T^+; \varepsilon^-, p_1^-, p_2^-, T^-, \nabla T^-, \mathbf{q}^-\right) \\ \chi_T^+=\chi_T^+\left(\varepsilon^+, p_1^+, p_2^+, T^+, \nabla T^+; \varepsilon^-, p_1^-, p_2^-, T^-, \nabla T^-, \chi_T^-\right) \\ \text{Avec } h_{dm}^{q-}=\left(h_{1\mathrm{m}}^{1-}, h_{1\mathrm{m}}^{2-}, h_{2\mathrm{m}}^{1-}, h_{2\mathrm{m}}^{2-}\right) \end{array}\right.$$ éq 2.3-1

## 2.4 Masse volumique homogénéisée

$$r^+=r_0+m_1^{1+}+m_1^{2+}+m_2^{1+}+m_2^{2+}$$ éq 2.4-1

# 3 Efforts généralisés

Il ressort de ce qui est écrit plus haut que les contraintes généralisées sont :

$$\begin{array}{l} \underline{\underline{\sigma}}', \sigma_p; \\ m_1^{1,}\mathbf{M}_1^{1,}h_{1\mathrm{m}}^1; m_1^{2,}\mathbf{M}_1^{2,}h_{1\mathrm{m}}^2; \\ m_2^{1,}\mathbf{M}_2^{1,}h_{2\mathrm{m}}^1; m_2^{2,}\mathbf{M}_2^{2,}h_{2\mathrm{m}}^2; \\ Q', \mathbf{q} \end{array}$$

Les déformations généralisées associées sont :

$$\mathbf{u}, \underline{\underline{\varepsilon}}(\mathbf{u}): p_{1,}\nabla p_1: p_{2,}\nabla p_2; T, \nabla T$$

**Remarque :**

Dans le cadre de la modélisation HM permanente saturée, les contraintes généralisées ne contiennent pas le terme d'apport massique.



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 4 Algorithme de résolution

## 4.1 Algorithme non linéaire de résolution des équations d'équilibre

Dans le cas général de la modélisation (coefficients variables, désaturation, convection) le problème variationnel présenté ci-dessus est non linéaire par rapport aux champs de déplacement, pression et température. Après discrétisation par éléments finis, on obtient un système matriciel non linéaire. La matrice de résolution contient de plus un terme non symétrique et est traité comme tel (pas de symétrisation de cette matrice pour utiliser des méthodes de minimum). On utilise dans tous les cas de modélisation le solveur non linéaire du *Code_Aster* STAT_NON_LINE reposant sur une méthode de Newton-Raphson, décrite en [R5.03.01]. Son principe est le suivant (les équations correspondant au traitement par dualisation des conditions aux limites ne sont pas indiquées explicitement ici).

L'équation d'équilibre thermo-poro-mécanique à l'instant $t^+$, connaissant à l'instant précédent $(\mathbf{u}_-, P_-, T_-)$, ainsi que les éventuelles variables internes s'écrit :

$$F_i(\mathbf{u}_+, P_+, T_+) = L_e(t^+) - G(\mathbf{u}_-, P_-, T_-) \quad ,$$

Pour trouver la solution de cette équation non linéaire, on construit une suite :

- initialisée par une prédiction qui donne $(\mathbf{u_0}, P_0, T_0) = (\mathbf{u}_-, P_-, T_-) + (\Delta\mathbf{u_0}, \Delta P_0, \Delta T_0)$ :

$$DF_{i(\mathbf{u}_-, P_-, T_-)} \circ (\Delta\mathbf{u_0}, \Delta P_0, \Delta T_0) = L_e(t^+) - L_e(t^-)$$

- corrigée par récurrence donnant :

$$(\mathbf{u}_{n+1}, P_{n+1}, T_{n+1}) = (\mathbf{u}_n, P_n, T_n) + (\delta\mathbf{u}_{n+1}, \delta P_{n+1}, \delta T_{n+1})$$

$$DF_i \circ (\delta\mathbf{u_{n+1}}, \delta P_{n+1}, \delta T_{n+1}) = -F_i(\mathbf{u}_n, P_n, T_n) + L_e(t^+) - G(\mathbf{u}_-, P_-, T_-)$$

Les notations suivantes ont été adoptées :

- $F_i(\mathbf{u}, P, T)$ contient le travail de déformation, les contributions à l'instant actuel des termes de dissipation hydraulique et thermique exprimés au sein de la $\theta$ -méthode, et des variations d'apport de masse fluide et d'entropie ;
- $DF_i$ désigne l'opérateur tangent, qui peut ne pas être actualisé à chaque itération en $(\mathbf{u}_n, P_n, T_n)$, selon un compromis coût de calcul-vitesse de convergence ; la convergence est vérifiée par un test sur la norme relative de la différence des itérés successifs (via le mot-clé INCO_GLOB_RELA) ;
- $G(\mathbf{u}_-, P_-, T_-)$ contient les contributions à l'instant précédent des termes de dissipation hydraulique et thermique exprimées au sein de la $\theta$ - méthode, et des variations d'apport de masse fluide et d'entropie ;
- $L_e(t)$ désigne le travail virtuel des forces « mortes » extérieures et d'apports extérieurs hydrauliques et de chaleur exprimés par la $\theta$ -méthode.

À convergence à l'itération $n+1$, on opère une actualisation des champs $(\mathbf{u}_+, P_+, T_+) = (\mathbf{u}_{n+1}, P_{n+1}, T_{n+1})$.

Dans la version présente de l'algorithme THM, nous avons décidé de regrouper tous les termes y compris ceux dus aux forces suiveuses et ceux du temps moins :

En posant :

$$\boxed{-R_i(\mathbf{u_n}, P_n, T_n) = -F_i(\mathbf{u}_n, P_n, T_n) - G(\mathbf{u}_-, P_-, T_-)} \quad ,$$



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

donc $DF_i = DR_i$

on a finalement :

$$DF_i \circ (\delta \mathbf{u}_{n+1}, \delta P_{n+1}, \delta T_{n+1}) = -R_i(\mathbf{u}_n, P_n, T_n) + L_e(t^+)$$

L'algorithme général d'équilibre s'écrira alors, pour un pas de temps :

Initialisations :

Calcul de $L_e(t^+)$ (option CHAR_MECA)

Calcul de $DF_{i(\mathbf{u}_-, P_-, T_-)}$ (option RIGI_MECA-TANG)

Calcul de $(\Delta \mathbf{u}_0, \Delta P_0, \Delta T_0)$ par : $DF_{i(\mathbf{u}_-, P_-, T_-)} \circ (\Delta \mathbf{u}_0, \Delta P_0, \Delta T_0) = L_e(t^+) - L_e(t^-)$

Itérations d'équilibre de Newton n

Si option FULL_MECA :

Calcul de $DF_{i(\mathbf{u}^+, P^+, T^+)}$ et $-R_i(\mathbf{u}_n^+, P_n^+, T_n^+)$ :

Mise à jour matrice tangente : $DF_i = DF_{i(\mathbf{u}_n^+, P_n^+, T_n^+)}$

Si option RAPH_MECA

Calcul de $-R_i(\mathbf{u}_n^+, P_n^+, T_n^+)$

Calcul de $(\delta \mathbf{u}_{n+1}, \delta P_{n+1}, \delta T_{n+1})$ par :

$$DF_i \circ (\delta \mathbf{u}_{n+1}, \delta P_{n+1}, \delta T_{n+1}) = -R_i(\mathbf{u}_n^+, P_n^+, T_n^+) + L_e(t^+)$$

Actualisation :

$$(\mathbf{u}_{n+1}^+, P_{n+1}^+, T_{n+1}^+) = (\mathbf{u}_n^+, P_n^+, T_n^+) + (\delta \mathbf{u}_{n+1}, \delta P_{n+1}, \delta T_{n+1})$$

SI test convergence OK

fin Newton : pas de temps suivant

Sinon

n = n+1

## 4.2 Boucle sur les éléments, les points de Gauss

Comme dans tous les codes d'éléments finis, les termes sont calculés par boucle sur les éléments et boucle sur les points de Gauss :

$$R_i(\mathbf{u}_n^+, P_n^+, T_n^+) = \sum_{el} \sum_{g} w_g^{el} R_{g\ i}^{el}(\mathbf{u}_n^+, P_n^+, T_n^+)$$

$$DF_{i(\mathbf{u}_n^+, P_n^+, T_n^+)} = \sum_{el} \sum_{g} w_g^{el} DF_{g\ i(\mathbf{u}_n^+, P_n^+, T_n^+)}^{el}$$



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Notons : $\{X^{el}\}$ le vecteur des inconnues nodales, sur un élément fini el

$$\{X^{el}\}=\left\{\begin{array}{l}\left.\begin{array}{l}u\\v\\w\\p_1\\p_2\\T\end{array}\right\}\text{noeud 1}\\\left.\begin{array}{l}u\\v\\w\\p_1\\p_2\\T\end{array}\right\}\text{noeud 2}\\\left.\begin{array}{l}u\\v\\w\\p_1\\p_2\\T\end{array}\right\}\text{noeud 3}\end{array}\right.$$

par exemple

Dans le présent paragraphe, pour simplifier la présentation, nous supposons que nous traitons d'un élément fini supportant des ddl de déplacement, deux ddl de pression et un ddl de température.

Notons $\{\mathrm{E}_g^{el}\}$ le vecteur des déformations généralisées au point de Gauss *g* de l'élément *el*
Par exemple :

$$\{\mathrm{E}_g^{el}\}=\left\{\begin{array}{c}\mathbf{u}\\\varepsilon(\mathbf{u})\\p_1\\\nabla p_1\\p_2\\\nabla p_2\\T\\\nabla T\end{array}\right\}$$

Nous notons $\{\Sigma_g^{el}\}$ le vecteur de contraintes généralisées pour le point de Gauss *g* de l'élément *el*



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Par exemple, et toujours dans le cas le plus complet :

$$\{\Sigma_g^{el}\} = \begin{matrix} \frac{\sigma'}{\sigma_p} \\ m_1^1 \\ \mathbf{M}_1^1 \\ h_{1m}^1 \\ m_1^2 \\ \mathbf{M}_1^2 \\ h_{1m}^2 \\ m_2^1 \\ \mathbf{M}_2^1 \\ h_{2m}^1 \\ m_2^2 \\ \mathbf{M}_2^2 \\ h_{2m}^2 \\ Q' \\ \mathbf{q} \end{matrix}$$

Les routines éléments finis calculent la matrice : $[B]_g^{el}$ définie par :

$$\{E_g^{el}\} = [B]_g^{el} \{X\}$$



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

L'algorithme deviendra alors :

Initialisations :

Calcul de $L_e(t^+)$ (option CHAR_MECA)

Calcul de $DF_{i(\mathbf{u}_-, P_-, T_-)}$ (option RIGI_MECA-TANG)

Calcul de $(\Delta\mathbf{u}_0, \Delta P_0, \Delta T_0)$ par : $DF_{i(\mathbf{u}_-, P_-, T_-)} \circ (\Delta\mathbf{u}_0, \Delta P_0, \Delta T_0) = L_e(t^+) - L_e(t^-)$

Itérations d'équilibre de Newton n

Boucle éléments *el*

Boucle points de gauss *g*

Calcul $[B]_g^{el}$

Calcul $\left\{E_g^{el-}\right\} = [B]_g^{el}\left\{X^-\right\}$ et $\left\{E_{gn}^{el+}\right\} = [B]_g^{el}\left\{X_n^+\right\}$

Calcul $\left\{\Sigma_{gn}^{el+}\right\}$ , $-R_{ig}^{el}(\mathbf{u}_n^+, P_n^+, T_n^+)$ et $DF_{g\ i(\mathbf{u}_n^+, P_n^+, T_n^+)}^{el}$ (selon options) à partir de :

$\left\{E_g^{el-}\right\}, \left\{E_g^{el+}\right\}, \left\{\Sigma_g^{el-}\right\}, \left\{E_g^{el+}\right\}, [B]_g^{el}$

Calcul de $(\delta\mathbf{u}_{n+1}, \delta P_{n+1}, \delta T_{n+1})$ par :

$$DF_i \circ (\delta\mathbf{u}_{n+1}, \delta P_{n+1}, \delta T_{n+1}) = -R_i(\mathbf{u}_n^+, P_n^+, T_n^+) + L_e(t^+)$$

Actualisation :

$$(\mathbf{u}_{n+1}^+, P_{n+1}^+, T_{n+1}^+) = (\mathbf{u}_n^+, P_n^+, T_n^+) + (\delta\mathbf{u}_{n+1}, \delta P_{n+1}, \delta T_{n+1})$$

SI test convergence OK

fin Newton : pas de temps suivant

Sinon

n = n+1

## 4.3 Vecteurs et matrices selon les options : routine EQUTHM

La partie centrale encadrée de l'algorithme présenté ci dessus est réalisée par une routine générique EQUTHM. Nous donnons en annexe une représentation graphique de l'appel de cette routine.

Cette routine est paramétrée en fonction des équations présentes (mécanique, hydraulique avec 1 ou 2 pressions, thermique). Le travail effectué par cette routine est paramétré par l'option.

Le terme $-R_i(\mathbf{u}_n, P_n, T_n)$ sera calculé par les options RAPH_MECA et FULL_MECA. Ce terme inclut les forces de volume suiveuses : on considérera que les forces suiveuses seront intégrées aux options RAPH_MECA, FULL_MECA et RIGI_MECA_TANG. Dans le cas où les données utilisateurs ne comportent pas de forces de volume, le vecteur $\mathbf{F}^{m^+}$ sera simplement nul.

Les présentations faites dans les deux paragraphes suivants sont faites dans le cas le plus général où on a une équation de mécanique, deux équations d'hydraulique et une équation de thermique. La routine EQUTHM calculera ou non les différents termes selon la description qu'on lui fera des équations présentes.

Les indices *g* et *el* sont désormais omis, mais il est clair que ce qui est décrit s'applique à chaque point de Gauss de chaque élément.

**Remarque :**



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

*Dans le cadre de la modélisation HM permanente saturée, une routine similaire à la routine EQUTHM a été implantée (la routine EQUTHP), qui tient compte des spécificités des équations de la modélisation permanente (pas d'apport massique).*

### 4.3.1 Résidu ou force nodale : options RAPH_MECA et FULL_MECA

On répartira les termes de la formulation variationnelle selon le principe suivant :

Si $\mathrm{E}_g^{*el}$ désigne un champ de déformation virtuel, $\mathrm{E}_g^{*elT}=(\mathbf{v},\varepsilon(\mathbf{v}),\pi_1,\nabla\pi_1,\pi_2,\nabla\pi_2,\tau,\nabla\tau)$ calculé à partir d'un vecteur de déplacement nodaux virtuels : $\left\{X^{*el}\right\}$

$$\mathrm{E}_g^{*elT}\cdot R_{ig}^{el}(\mathbf{u}_+,P_+,T_+)=R_1\mathbf{v}+R_2\varepsilon(\mathbf{v})+R_3\pi_1+R_4\nabla\pi_1+R_5\pi_2+R_6\nabla\pi_2+R_7\tau+R_8\nabla\tau$$

On a alors :

| Indice | R | associé à |
|---|---|---|
| 1 | $-\left(m_1^{1+}+m_1^{2+}+m_2^{1+}+m_2^{2+}\right)\mathbf{F}^{m^+}$ | $\mathbf{v}$ |
| 2 | $\sigma'^{+}+\sigma_p^{+}I$ | $\varepsilon(\mathbf{v})$ |
| 3 | $-m_1^{1+}-m_1^{2+}+m_1^{1-}+m_1^{2-}$ | $\pi_1$ |
| 4 | $\theta\Delta t\left(\boldsymbol{M}_1^{1+}+\boldsymbol{M}_1^{2+}\right)+(1-\theta)\Delta t\left(\boldsymbol{M}_1^{1-}+\boldsymbol{M}_1^{2-}\right)$ | $\nabla\pi_1$ |
| 5 | $-m_2^{1+}-m_2^{2+}+m_2^{1-}+m_2^{2-}$ | $\pi_2$ |
| 6 | $\theta\Delta t\left(\boldsymbol{M}_2^{1+}+\boldsymbol{M}_2^{2+}\right)+(1-\theta)\Delta t\left(\boldsymbol{M}_2^{1-}+\boldsymbol{M}_2^{2-}\right)$ | $\nabla\pi_2$ |
| 7 | $Q'^{+}-Q'^{-}$<br>$(\theta h_{1\mathrm{m}}^{1+}+(1-\theta)h_{1\mathrm{m}}^{1-})(m_1^{1+}-m_1^{1-})+(\theta h_{1\mathrm{m}}^{2+}+(1-\theta)h_{1\mathrm{m}}^{2-})(m_1^{2+}-m_1^{2-})$<br>$(\theta h_{2\mathrm{m}}^{1+}+(1-\theta)h_{2\mathrm{m}}^{1-})(m_2^{1+}-m_2^{1-})+(\theta h_{2\mathrm{m}}^{2+}+(1-\theta)h_{2\mathrm{m}}^{2-})(m_2^{2+}-m_2^{2-})$<br>$-\Delta t\theta(\mathbf{M}_1^{1+}+\mathbf{M}_1^{2+}+\mathbf{M}_2^{1+}+\mathbf{M}_2^{2+})\cdot\mathbf{F}^{m}-\Delta t(1-\theta)(\mathbf{M}_1^{1-}+\mathbf{M}_1^{2-}+\mathbf{M}_2^{1-}+\mathbf{M}_2^{2-})\cdot\mathbf{F}^{m}$ | $\tau$ |
| 8 | $-\theta\Delta t\left(h_{1\mathrm{m}}^{1+}\boldsymbol{M}_1^{1+}+h_{1\mathrm{m}}^{2+}\boldsymbol{M}_1^{2+}+h_{2\mathrm{m}}^{1+}\boldsymbol{M}_2^{1+}+h_{2\mathrm{m}}^{2+}\boldsymbol{M}_2^{2+}+\mathbf{q}^{+}\right)$<br>$-(1-\theta)\Delta t\left(h_{1\mathrm{m}}^{1+}\boldsymbol{M}_1^{1+}+h_{1\mathrm{m}}^{2+}\boldsymbol{M}_1^{2+}+h_{2\mathrm{m}}^{1+}\boldsymbol{M}_2^{1+}+h_{2\mathrm{m}}^{2+}\boldsymbol{M}_2^{2+}+\mathbf{q}^{+}\right)$ | $\nabla\tau$ |

A partir de là on définira le vecteur résidu nodal $\left\{\boldsymbol{V}_{\boldsymbol{g}}^{\boldsymbol{el}}\right\}$ tel que :

$$\left\{X^{*el}\right\}^T\cdot\left\{\boldsymbol{V}_{\boldsymbol{g}}^{\boldsymbol{el}}\right\}=E_g^{*elT}\cdot R_{ig}^{el}(\mathbf{u}_+,P_+,T_+)$$

$\left\{\boldsymbol{V}_{\boldsymbol{g}}^{\boldsymbol{el}}\right\}$ se calculera par :

$$\boxed{\left\{\boldsymbol{V}_{\boldsymbol{g}}^{\boldsymbol{el}}\right\}=\left[\boldsymbol{B}_g^{el}\right]^T\cdot\{R\}}$$

**Remarque :**

*Dans le cadre de la modélisation HM permanente saturée, la routine EQUTHP n'assemble jamais les termes R3 et R5.*



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

### 4.3.2 Chargement : options CHAR_MECA

Ce chapitre n'est ici que pour mémoire car la routine EQUTHM ne s'occupera pas de ces termes.

On répartira les termes de la formulation variationnelle selon le principe suivant :

$$\mathrm{E}_g^{*el^T}\cdot L_{eg}^{el}(t+)=L_1\,\mathbf{v}+L_2\,\varepsilon(\mathbf{v})+L_3\,\pi_1+L_4\nabla\pi_1+L_5\,\pi_2+L_6\nabla\pi_2+L_7\,\tau+L_8\nabla\tau$$

| Indice | L | type élément | associé à |
|---|---|---|---|
| 1 | $\mathbf{f}^{ext^+}$ | bord | $\mathbf{v}$ |
| 3 | $\Delta t\left(\boldsymbol{M}_{1\mathrm{ext}}^{1\theta}+\boldsymbol{M}_{1\mathrm{ext}}^{2\theta}\right)$ | bord | $\pi_1$ |
| 5 | $\Delta t\left(\boldsymbol{M}_{2\mathrm{ext}}^{1\theta}+\boldsymbol{M}_{2\mathrm{ext}}^{2\theta}\right)$ | bord | $\pi_2$ |
| 7 | $\Delta t\,R^{\theta}$<br>$-\Delta t\left(\mathbf{q}_{ext}^{\theta}+\left(h_{1\mathrm{m}}^{1\theta}\mathbf{M}_{1\mathrm{ext}}^{1\theta}+h_{1\mathrm{m}}^{2\theta}\mathbf{M}_{1\mathrm{ext}}^{2\theta}\right)\right.$<br>$\left.-\Delta t\left(h_{2\mathrm{m}}^{1\theta}\mathbf{M}_{2\mathrm{ext}}^{1\theta}+h_{2\mathrm{m}}^{2\theta}\mathbf{M}_{2\mathrm{ext}}^{2\theta}\right)\right.$<br>$=-\Delta t\,\tilde{\mathbf{q}}_{ext}^{\theta}$ | volume<br>bord | $\tau$ |

### 4.3.3 Opérateur tangent : options FULL_MECA, RIGI_MECA_TANG

**Remarque sur les notations matricielles :**

*Dans ce qui suit, si $X$ désigne un vecteur de composantes $X^i$ et $Y$ un vecteur de composantes $Y^i$, $\left[\frac{\partial X}{\partial Y}\right]$ désignera une matrice dont l'élément $(ligne:i,\,colonne:j)$ est $\frac{\partial X^i}{\partial Y^j}$.*

Pour calculer l'opérateur tangent $DF_i$, on calculera les quantités suivantes :

$[\mathbf{DRDE}]$ =

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DR1U | DR1E | DR1P1 | DR1GP1 | DR1P2 | DR1GP2 | DR1T | DR1GT |
| DR2U | DR2E | DR2P1 | DR2GP1 | DR2P2 | DR2GP2 | DR2T | DR2GT |
| DR3U | DR3E | DR3P1 | DR3GP1 | DR3P2 | DR3GP2 | DR3T | DR3GT |
| DR4U | DR4E | DR4P1 | DR4GP1 | DR4P2 | DR4GP2 | DR4T | DR4GT |
| DR5U | DR5E | DR5P1 | DR5GP1 | DR5P2 | DR5GP2 | DR5T | DR5GT |
| DR6U | DR6E | DR6P1 | DR6GP1 | DR6P2 | DR6GP2 | DR6T | DR6GT |
| DR7U | DR7E | DR7P1 | DR7GP1 | DR7P2 | DR7GP2 | DR7T | DR7GT |
| DR8U | DR8E | DR8P1 | DR8GP1 | DR8P2 | DR8GP2 | DR8T | DR8GT |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Où on a noté :

$$DRiU = \frac{\partial F_i}{\partial \underline{u}}$$

$$DRiE = \frac{\partial F_i}{\partial \underline{\underline{\varepsilon}}}$$

$$DRiP1 = \frac{\partial F_i}{\partial p_1}$$

$$DRiP2 = \frac{\partial F_i}{\partial p_2}$$

$$DRiGP1 = \frac{\partial F_i}{\partial \underline{\nabla p_1}}$$

$$DRiGP2 = \frac{\partial F_i}{\partial \underline{\nabla p_2}}$$

$$DRiT = \frac{\partial F_i}{\partial T}$$

$$DRiGT = \frac{\partial F_i}{\partial \underline{\nabla T}}$$



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Pour faire ces calculs on considère que les lois de comportement fourniront, pour les options correspondantes, toutes les dérivées suivantes :

$$
\left[\mathbf{DSDE}\right]=\begin{array}{cccccccc}
\frac{\partial \sigma'}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial \sigma'}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial \sigma'}{\partial p_1} & \frac{\partial \sigma'}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial \sigma'}{\partial p_2} & \frac{\partial \sigma'}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial \sigma'}{\partial T} & \frac{\partial \sigma'}{\partial \nabla T} \\
\frac{\partial \sigma_p}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial p_1} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial p_2} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial T} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial \nabla T} \\
\frac{\partial m_1^1}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial m_1^1}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial m_1^1}{\partial p_1} & \frac{\partial m_1^1}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial m_1^1}{\partial p_2} & \frac{\partial m_1^1}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial m_1^1}{\partial T} & \frac{\partial m_1^1}{\partial \nabla T} \\
\frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \nabla T} \\
\frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^1}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^1}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^1}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^1}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^1}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^1}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^1}{\partial T} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^1}{\partial \nabla T} \\
\frac{\partial m_1^2}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial m_1^2}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial m_1^2}{\partial p_1} & \frac{\partial m_1^2}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial m_1^2}{\partial p_2} & \frac{\partial m_1^2}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial m_1^2}{\partial T} & \frac{\partial m_1^2}{\partial \nabla T} \\
\frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \nabla T} \\
\frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial T} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial \nabla T} \\
\frac{\partial m_2^1}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial m_2^1}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial m_2^1}{\partial p_1} & \frac{\partial m_2^1}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial m_2^1}{\partial p_2} & \frac{\partial m_2^1}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial m_2^1}{\partial T} & \frac{\partial m_2^1}{\partial \nabla T} \\
\frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \nabla T} \\
\frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial T} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial \nabla T} \\
\frac{\partial m_2^2}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial m_2^2}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial m_2^2}{\partial p_1} & \frac{\partial m_2^2}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial m_2^2}{\partial p_2} & \frac{\partial m_2^2}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial m_2^2}{\partial T} & \frac{\partial m_2^2}{\partial \nabla T} \\
\frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \nabla T} \\
\frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^2}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^2}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^2}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^2}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^2}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^2}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^2}{\partial T} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^2}{\partial \nabla T} \\
\frac{\partial Q'}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial Q'}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial Q'}{\partial p_1} & \frac{\partial Q'}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial Q'}{\partial p_2} & \frac{\partial Q'}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial Q'}{\partial T} & \frac{\partial Q'}{\partial \nabla T} \\
\frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \mathbf{u}} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \varepsilon} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \nabla p_1} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \nabla p_2} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \nabla T}
\end{array}
$$



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

En fait, dans ces expressions, les dérivées par rapport à u sont toutes nulles, mais nous gardons l'écriture compte tenu de la définition des matrices $[B]_g^{el}$ que nous avons adoptée.

L'appel aux lois de comportement fournira les morceaux de la matrice $[\mathbf{DSDE}]$ selon les équations présentes :

$$[\mathbf{DMECDE}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial \sigma'}{\partial \varepsilon}\\ \frac{\partial \sigma_p}{\partial \varepsilon}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DMECP1}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial \sigma'}{\partial p_1} & \frac{\partial \sigma'}{\partial \nabla p_1}\\ \frac{\partial \sigma_p}{\partial p_1} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial \nabla p_1}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DMECP2}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial \sigma'}{\partial p_2} & \frac{\partial \sigma'}{\partial \nabla p_2}\\ \frac{\partial \sigma_p}{\partial p_2} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial \nabla p_2}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DMECDT}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial \sigma'}{\partial T} & \frac{\partial \sigma'}{\partial \nabla T}\\ \frac{\partial \sigma_p}{\partial T} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial \nabla T}\end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{DP11DE}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_1^1}{\partial \varepsilon}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \varepsilon}\\ \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^1}{\partial \varepsilon}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DP11P1}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_1^1}{\partial p_1} & \frac{\partial m_1^1}{\partial \nabla p_1}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \nabla p_1}\\ \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^1}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^1}{\partial \nabla p_1}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DP11P2}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_1^1}{\partial p_2} & \frac{\partial m_1^1}{\partial \nabla p_2}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \nabla p_2}\\ \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^1}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^1}{\partial \nabla p_2}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DP11DT}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_1^1}{\partial T} & \frac{\partial m_1^1}{\partial \nabla T}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \nabla T}\\ \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^1}{\partial T} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^1}{\partial \nabla T}\end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{DP12DE}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_1^2}{\partial \varepsilon}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \varepsilon}\\ \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial \varepsilon}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DP12P1}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_1^2}{\partial p_1} & \frac{\partial m_1^2}{\partial \nabla p_1}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \nabla p_1}\\ \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial \nabla p_1}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DP12P2}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_1^2}{\partial p_2} & \frac{\partial m_1^2}{\partial \nabla p_2}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \nabla p_2}\\ \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial \nabla p_2}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DP12DT}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_1^2}{\partial T} & \frac{\partial m_1^2}{\partial \nabla T}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \nabla T}\\ \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial T} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial \nabla T}\end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{DP21DE}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_2^1}{\partial \varepsilon}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \varepsilon}\\ \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial \varepsilon}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DP21P1}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_2^1}{\partial p_1} & \frac{\partial m_2^1}{\partial \nabla p_1}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \nabla p_1}\\ \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial \nabla p_1}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DP21P2}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_2^1}{\partial p_2} & \frac{\partial m_2^1}{\partial \nabla p_2}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \nabla p_2}\\ \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial \nabla p_2}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DP21DT}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_2^1}{\partial T} & \frac{\partial m_2^1}{\partial \nabla T}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \nabla T}\\ \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial T} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial \nabla T}\end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{DP22DE}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_2^2}{\partial \varepsilon}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \varepsilon}\\ \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^2}{\partial \varepsilon}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DP22P1}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_2^2}{\partial p_1} & \frac{\partial m_2^2}{\partial \nabla p_1}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \nabla p_1}\\ \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^2}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^2}{\partial \nabla p_1}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DP22P2}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_2^2}{\partial p_2} & \frac{\partial m_2^2}{\partial \nabla p_2}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \nabla p_2}\\ \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^2}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^2}{\partial \nabla p_2}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DP22DT}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial m_2^2}{\partial T} & \frac{\partial m_2^2}{\partial \nabla T}\\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \nabla T}\\ \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^2}{\partial T} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^2}{\partial \nabla T}\end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{DTDE}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial Q'}{\partial \varepsilon}\\ \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \varepsilon}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DTDP1}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial Q'}{\partial p_1} & \frac{\partial Q'}{\partial \nabla p_1}\\ \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \nabla p_1}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DTDP2}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial Q'}{\partial p_2} & \frac{\partial Q'}{\partial \nabla p_2}\\ \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \nabla p_2}\end{bmatrix} \; ; \; [\mathbf{DTDT}]=\begin{bmatrix}\frac{\partial Q'}{\partial T} & \frac{\partial Q'}{\partial \nabla T}\\ \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \nabla T}\end{bmatrix}$$



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Par ailleurs, en dérivant l'expression du résidu par rapport aux contraintes, on définit :

$$[\mathbf{DRDS}]=\begin{bmatrix}
\frac{\partial R_1}{\partial \sigma'} & \frac{\partial R_1}{\partial \sigma_p} & \frac{\partial R_1}{\partial m_1^1} & \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_1^1} & \frac{\partial R_1}{\partial h_{1\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_1}{\partial m_1^2} & \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_1^2} & \frac{\partial R_1}{\partial h_{1\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_1}{\partial m_2^1} & \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_2^1} & \frac{\partial R_1}{\partial h_{2\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_1}{\partial m_2^2} & \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_2^2} & \frac{\partial R_1}{\partial h_{2\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_1}{\partial Q'} & \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{q}} \\
\frac{\partial R_2}{\partial \sigma'} & \frac{\partial R_2}{\partial \sigma_p} & \frac{\partial R_2}{\partial m_1^1} & \frac{\partial R_2}{\partial \mathbf{M}_1^1} & \frac{\partial R_2}{\partial h_{1\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_2}{\partial m_1^2} & \frac{\partial R_2}{\partial \mathbf{M}_1^2} & \frac{\partial R_2}{\partial h_{1\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_2}{\partial m_2^1} & \frac{\partial R_2}{\partial \mathbf{M}_2^1} & \frac{\partial R_2}{\partial h_{2\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_2}{\partial m_2^2} & \frac{\partial R_2}{\partial \mathbf{M}_2^2} & \frac{\partial R_2}{\partial h_{2\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_2}{\partial Q'} & \frac{\partial R_2}{\partial \mathbf{q}} \\
\frac{\partial R_3}{\partial \sigma'} & \frac{\partial R_3}{\partial \sigma_p} & \frac{\partial R_3}{\partial m_1^1} & \frac{\partial R_3}{\partial \mathbf{M}_1^1} & \frac{\partial R_3}{\partial h_{1\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_3}{\partial m_1^2} & \frac{\partial R_3}{\partial \mathbf{M}_1^2} & \frac{\partial R_3}{\partial h_{1\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_3}{\partial m_2^1} & \frac{\partial R_3}{\partial \mathbf{M}_2^1} & \frac{\partial R_3}{\partial h_{2\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_3}{\partial m_2^2} & \frac{\partial R_3}{\partial \mathbf{M}_2^2} & \frac{\partial R_3}{\partial h_{2\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_3}{\partial Q'} & \frac{\partial R_3}{\partial \mathbf{q}} \\
\frac{\partial R_4}{\partial \sigma'} & \frac{\partial R_4}{\partial \sigma_p} & \frac{\partial R_4}{\partial m_1^1} & \frac{\partial R_4}{\partial \mathbf{M}_1^1} & \frac{\partial R_4}{\partial h_{1\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_4}{\partial m_1^2} & \frac{\partial R_4}{\partial \mathbf{M}_1^2} & \frac{\partial R_4}{\partial h_{1\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_4}{\partial m_2^1} & \frac{\partial R_4}{\partial \mathbf{M}_2^1} & \frac{\partial R_4}{\partial h_{2\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_4}{\partial m_2^2} & \frac{\partial R_4}{\partial \mathbf{M}_2^2} & \frac{\partial R_4}{\partial h_{2\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_4}{\partial Q'} & \frac{\partial R_4}{\partial \mathbf{q}} \\
\frac{\partial R_5}{\partial \sigma'} & \frac{\partial R_5}{\partial \sigma_p} & \frac{\partial R_5}{\partial m_1^1} & \frac{\partial R_5}{\partial \mathbf{M}_1^1} & \frac{\partial R_5}{\partial h_{1\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_5}{\partial m_1^2} & \frac{\partial R_5}{\partial \mathbf{M}_1^2} & \frac{\partial R_5}{\partial h_{1\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_5}{\partial m_2^1} & \frac{\partial R_5}{\partial \mathbf{M}_2^1} & \frac{\partial R_5}{\partial h_{2\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_5}{\partial m_2^2} & \frac{\partial R_5}{\partial \mathbf{M}_2^2} & \frac{\partial R_5}{\partial h_{2\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_5}{\partial Q'} & \frac{\partial R_5}{\partial \mathbf{q}} \\
\frac{\partial R_6}{\partial \sigma'} & \frac{\partial R_6}{\partial \sigma_p} & \frac{\partial R_6}{\partial m_1^1} & \frac{\partial R_6}{\partial \mathbf{M}_1^1} & \frac{\partial R_6}{\partial h_{1\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_6}{\partial m_1^2} & \frac{\partial R_6}{\partial \mathbf{M}_1^2} & \frac{\partial R_6}{\partial h_{1\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_6}{\partial m_2^1} & \frac{\partial R_6}{\partial \mathbf{M}_2^1} & \frac{\partial R_6}{\partial h_{2\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_6}{\partial m_2^2} & \frac{\partial R_6}{\partial \mathbf{M}_2^2} & \frac{\partial R_6}{\partial h_{2\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_6}{\partial Q'} & \frac{\partial R_6}{\partial \mathbf{q}} \\
\frac{\partial R_7}{\partial \sigma'} & \frac{\partial R_7}{\partial \sigma_p} & \frac{\partial R_7}{\partial m_1^1} & \frac{\partial R_7}{\partial \mathbf{M}_1^1} & \frac{\partial R_7}{\partial h_{1\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_7}{\partial m_1^2} & \frac{\partial R_7}{\partial \mathbf{M}_1^2} & \frac{\partial R_7}{\partial h_{1\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_7}{\partial m_2^1} & \frac{\partial R_7}{\partial \mathbf{M}_2^1} & \frac{\partial R_7}{\partial h_{2\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_7}{\partial m_2^2} & \frac{\partial R_7}{\partial \mathbf{M}_2^2} & \frac{\partial R_7}{\partial h_{2\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_7}{\partial Q'} & \frac{\partial R_7}{\partial \mathbf{q}} \\
\frac{\partial R_8}{\partial \sigma'} & \frac{\partial R_8}{\partial \sigma_p} & \frac{\partial R_8}{\partial m_1^1} & \frac{\partial R_8}{\partial \mathbf{M}_1^1} & \frac{\partial R_8}{\partial h_{1\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_8}{\partial m_1^2} & \frac{\partial R_8}{\partial \mathbf{M}_1^2} & \frac{\partial R_8}{\partial h_{1\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_8}{\partial m_2^1} & \frac{\partial R_8}{\partial \mathbf{M}_2^1} & \frac{\partial R_8}{\partial h_{2\mathrm{m}}^1} & \frac{\partial R_8}{\partial m_2^2} & \frac{\partial R_8}{\partial \mathbf{M}_2^2} & \frac{\partial R_8}{\partial h_{2\mathrm{m}}^2} & \frac{\partial R_8}{\partial Q'} & \frac{\partial R_8}{\partial \mathbf{q}}
\end{bmatrix}$$

Toutes ces quantités n'étant pas forcément calculées, on notera :

$$[\mathbf{DR1DS}]=\left[\frac{\partial R_1}{\partial \sigma'^{+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \sigma_p^{+}}\right] \quad ; \quad [\mathbf{DR1P11}]=\left[\frac{\partial R_1}{\partial m_1^{1+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_1^{1+}}\right] ou \left[\frac{\partial R_1}{\partial m_1^{1+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_1^{1+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \sigma_{1\mathrm{m}}^{1+}}\right]$$

$$[\mathbf{DR1P12}]=\left[\frac{\partial R_1}{\partial m_1^{2+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_1^{2+}}\right] ou \left[\frac{\partial R_1}{\partial m_1^{2+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_1^{2+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial h_{1\mathrm{m}}^{2+}}\right]$$

$$[\mathbf{DR1P21}]=\left[\frac{\partial R_1}{\partial m_2^{1+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_2^{1+}}\right] ou \left[\frac{\partial R_1}{\partial m_2^{1+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_2^{1+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial h_{2\mathrm{m}}^{1+}}\right]$$

$$[\mathbf{DR1P22}]=\left[\frac{\partial R_1}{\partial m_2^{2+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_2^{2+}}\right] ou \left[\frac{\partial R_1}{\partial m_2^{2+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_2^{2+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial h_{2\mathrm{m}}^{2+}}\right]$$

$$[\mathbf{DR1DT}]=\left[\frac{\partial R_1}{\partial Q'^{+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{q}^{+}}\right]$$

De même :

$$[\mathbf{DR8DS}],[\mathbf{DR8P11}],[\mathbf{DR8P12}],[\mathbf{DR8P21}],[\mathbf{DR8P22}],[\mathbf{DR8DT}]$$

Il est alors clair que :

$$\boxed{[\mathbf{DRDE}]=[\mathbf{DRDS}]\cdot[\mathbf{DSDE}]}$$

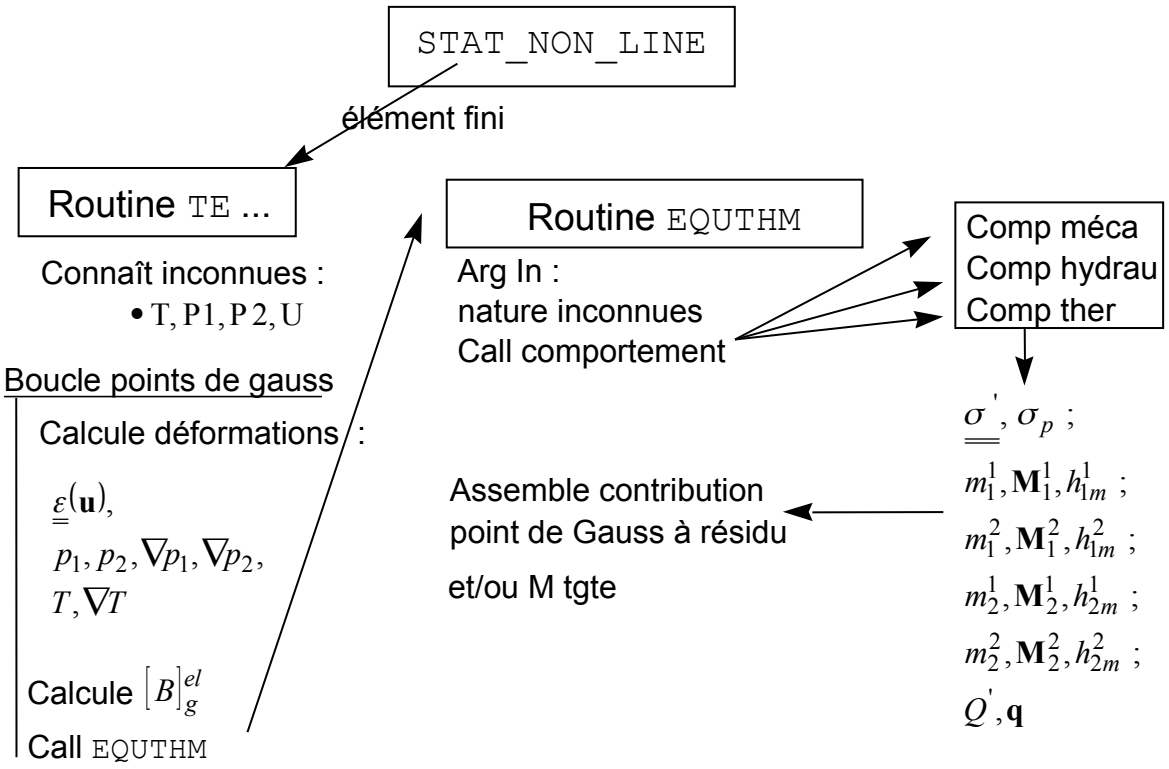
Et la contribution du point de Gauss à la matrice tangente $\mathrm{DF}^{el}_{g\,i(u_n^+,P_n^+,T_n^+)}$ s'obtient par :

$$\boxed{\left[\mathbf{DF}^{\boldsymbol{el}}_{\boldsymbol{g}\,i(u_n^+,P_n^+,T_n^+)}\right]=\left[\mathbf{B}_g^{el}\right]^T\cdot[\mathbf{DRDE}]\cdot\left[\mathbf{B}_g^{el}\right]}$$



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 5 Schéma général






Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 6 Spécifications du sous programme générique EQUTHM

## 6.1 Arguments de la routine

| ARGUMENTS D'ENTREE : IN | | |
|---|---|---|
| COMPOR | Description du comportement | |
| OPTION | Option à calculer | |
| NDIM | dimension espace | 2 ou 3 |
| NDDL | Nombre total de degrés de liberté de l'élément appelant | |
| DIMDEF | dimension du tableau des déformations généralisées au point de Gauss | |
| DIMCON | dimension du tableau des contraintes généralisées au point de Gauss | |
| NVIMEC | Nombre de variables internes « mécaniques » | |
| ADVIME | Adresse des variables internes mécaniques dans le tableau des variables internes au point de Gauss | |
| NVIHY | Nombre de variables internes « hydrauliques » | |
| ADVIHY | Adresse des variables internes hydrauliques dans le tableau des variables internes au point de Gauss | |
| NVITM | Nombre de variables internes « thermiques » | |
| ADVITM | Adresse des variables internes thermiques dans le tableau des variables internes au point de Gauss | |
| B(1 :dimdef,1 :nddl) | Matrice $[B]_g^{el}$ | |
| DEFGEP(1 :dimdef) | Valeurs de déformations généralisées au point de Gauss temps plus | |
| DEFGEM(1 :dimdef) | Valeurs de déformations généralisées au point de Gauss temps moins | |
| CONGEM(1 :dimcon) | Valeurs de contraintes généralisées au point de Gauss temps moins | |
| VINTM(1 :nvimec+nvihy+nvitm) | Valeurs des variables internes au point de Gauss temps moins | |
| MECA(1 :5) | YAMEC = MECA(1) | logique si 1 il y a une équation de mécanique |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

| | | |
|---|---|---|
| | ADDEME = MECA(2) | Adresse dans les tableaux des déformations au point de Gauss DEFGEP et DEFGEM des déformations correspondant à la mécanique |
| | ADCOME = MECA(3) | Adresse dans les tableaux des contraintes au point de Gauss CONGEP et CONGEM des contraintes correspondant à l'équation ieq |
| | NDEFME = MECA(4) | Nombre de déformations mécaniques |
| | NCONME = MECA(5) | Nombre de contraintes mécaniques |
| PRESS1(1 :5) | YAP1 = PRESS1(1) | logique si 1 il y a une équation constituant 1 |
| | NBPHA1 = PRESS1(2) | nombre de phases pour le constituant 1 |
| | ADDEP1 = PRESS1(3) | Adresse dans les tableaux des déformations au point de Gauss DEFGEP et DEFGEM des déformations correspondant à la première pression |
| | ADCP11 = PRESS1(4) | Adresse dans les tableaux des contraintes au point de Gauss CONGEP et CONGEM des contraintes correspondant à la première phase du premier constituant |
| | ADCP12 = PRESS1(5) | Adresse dans les tableaux des contraintes au point de Gauss CONGEP et CONGEM des contraintes correspondant à la deuxième phase du premier constituant |
| | NDEFP1 = PRESS1(6) | Nombre de déformations pression 1 |
| | NCONP1 = PRESS1(7) | Nombre de contraintes pour chaque phase du constituant 1 |
| PRESS2(1 :5) | YAP2 = PRESS2(1) | logique si 1 il y a une équation constituant 2 |
| | NBPHA2 = PRESS2(2) | nombre de phases pour le constituant 2 |
| | ADDEP2 = PRESS2(3) | Adresse dans les tableaux des déformations au point de Gauss DEFGEP et DEFGEM des déformations correspondant à PRE2 |
| | ADCP21 = PRESS2(4) | Adresse dans les tableaux des contraintes au point de Gauss CONGEP et CONGEM des contraintes correspondant à la première phase du deuxième constituant |
| | ADCP22 = PRESS2(5) | Adresse dans les tableaux des contraintes au point de Gauss CONGEP et CONGEM des contraintes correspondant à la deuxième phase du deuxième constituant |
| | NDEFP2 = PRESS2(6) | Nombre de déformations pression 2 |
| | NCONP2 = PRESS2(7) | Nombre de contraintes pour chaque phase du constituant 2 |
| TEMPE(1 :5) | YATE = TEMPE(1) | logique si 1 il y a une équation de thermique |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

| | | |
|---|---|---|
| | ADDETE = TEMPE(2) | Adresse dans les tableaux des déformations au point de Gauss DEFGEP et DEFGEM des déformations correspondant à la thermique |
| | ADCOTE = TEMPE(3) | Adresse dans les tableaux des contraintes au point de Gauss CONGEP et première CONGEM des contraintes correspondant à la thermique |
| | NDEFT = TEMPE(4) | Nombre de déformations thermique |
| | NCONT = TEMPE(5) | Nombre de contraintes thermique |
| **ARGUMENTS DE SORTIE : OUT** | | |
| CONGEP(1 :dimcon) | Valeurs de contraintes généralisées au point de Gauss temps plus | |
| VINTP(1 :nvimec+nvihy+nvitm) | Valeurs des variables internes au point de Gauss temps plus | |
| V(1 :nddl) | $\left\{\mathbf{V}_g^{el}\right\}=\left[\mathbf{B}_g^{el}\right]^T\{R\}$ | |
| MAT(1 :nddl,1 :nddl) | $\left[\mathbf{DF}_{\mathbf{g}\,i(u_n^+,P_n^+,T_n^+)}^{el}\right]=\left[\mathbf{B}_g^{el}\right]^T\cdot[\mathbf{DRDE}]\cdot\left[\mathbf{B}_g^{el}\right]$ | |
| **TABLEAUX DE TRAVAIL** | | |
| R(1 :dimdef) | | |
| DRDS (1 :dimdef,1 :dimcon) | | |
| DSDE (1 :dimcon,1 :dimdef) | | |

## 6.2 Adressage dans les tableaux de déformation et contrainte

### 6.2.1 Adressage dans les déformations

#### 6.2.1.1 Déformations temps moins

| Partie (nom local dans routine COMTHM ) | Signification | Adresse dans DEFGEM |
|---|---|---|
| DEMECM | $\mathbf{u}, \underline{\underline{\varepsilon}}(\mathbf{u})$ | ADDEME |
| DEP1M | $p_1, \nabla p_1$ | ADDEP1 |
| DEP2M | $p_2, \nabla p_2$ | ADDEP2 |
| DETM | $T, \nabla T$ | ADDETE |

#### 6.2.1.2 Déformations temps plus

| Partie (nom local dans routine COMTHM ) | Signification | Adresse dans DEFGEP |
|---|---|---|
| DEMECP | $\mathbf{u}, \underline{\underline{\varepsilon}}(\mathbf{u})$ | ADDEME |
| DEP1P | $p_1, \nabla p_1$ | ADDEP1 |
| DEP2P | $p_2, \nabla p_2$ | ADDEP2 |
| DETP | $T, \nabla T$ | ADDETE |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

## 6.2.2 Adressage dans les contraintes

### 6.2.2.1 Contraintes temps moins

| Partie (nom local dans routine COMTHM ) | Signification | Adresse dans CONGEM |
|---|---|---|
| COMECM | $\underline{\underline{\sigma}}', \sigma_p$ | ADCOME |
| CP11M | $m_1^{1,}\mathbf{M_1^1}$ ou $m_1^{1,}\mathbf{M_1^1},h_{1\mathrm{m}}^1$ | ADCP11 |
| CP12M | $m_1^{2,}\mathbf{M_1^2}$ ou $m_1^{2,}\mathbf{M_1^2},h_{1\mathrm{m}}^2$ | ADCP12 |
| CP21M | $m_2^{1,}\mathbf{M_2^1}$ ou $m_2^{1,}\mathbf{M_2^1},h_{2\mathrm{m}}^1$ | ADCP21 |
| CP22M | $m_2^{2,}\mathbf{M_2^2}$ ou $m_2^{2,}\mathbf{M_2^2},h_{2\mathrm{m}}^2$ | ADCP22 |
| COTM | $Q', \mathbf{q}$ | ADCOTE |

### 6.2.2.2 Contraintes temps plus

| Partie (nom local dans routine COMTHM ) | Signification | Adresse dans CONGEP |
|---|---|---|
| COMECP | $\underline{\underline{\sigma}}', \sigma_p$ | ADCOME |
| CP11P | $m_1^{1,}\mathbf{M_1^1}$ ou $m_1^{1,}\mathbf{M_1^1},h_{1\mathrm{m}}^1$ | ADCP11 |
| CP12P | $m_1^{2,}\mathbf{M_1^2}$ ou $m_1^{2,}\mathbf{M_1^2},h_{1\mathrm{m}}^2$ | ADCP12 |
| CP21P | $m_2^{1,}\mathbf{M_2^1}$ ou $m_2^{1,}\mathbf{M_2^1},h_{2\mathrm{m}}^1$ | ADCP21 |
| CP22P | $m_2^{2,}\mathbf{M_2^2}$ ou $m_2^{2,}\mathbf{M_2^2},h_{2\mathrm{m}}^2$ | ADCP22 |
| COTP | $Q', \mathbf{q}$ | ADCOTE |

## 6.2.3 Adressage dans les variables internes (exemple)

### 6.2.3.1 Variables internes au temps moins

| Partie (nom local dans routine COMTHM ) | Signification | Adresse dans VINTM |
|---|---|---|
| VIMEM | $\varphi$ | ADVIME |
| VIHYM | $S_{lq}, P_{vq}, P_{lq}$ | ADVIHY |

### 6.2.3.2 Variables internes au temps plus

| Partie (nom local dans routine COMTHM ) | Signification | Adresse dans VINTP |
|---|---|---|
| VIMEP | $\varphi$ | ADVIME |
| VIHYP | $S_{lq}, P_{vq}, P_{lq}$ | ADVIHY |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

## 6.3 Adressage R, DRDS, DSDE

### 6.3.1 Adressage dans R

| Sous partie de R | Associé à | Adresse dans R |
|---|---|---|
| R1 | $\mathbf{v}$ | ADDEME |
| R2 | $\varepsilon(\mathbf{v})$ | ADDEME+NDIM |
| R3 | $\pi_1$ | ADDEP1 |
| R4 | $\nabla \pi_1$ | ADDEP1+1 |
| R5 | $\pi_2$ | ADDEP2 |
| R6 | $\nabla \pi_2$ | ADDEP2+1 |
| R7 | $\tau$ | ADDETE |
| R8 | $\nabla \tau$ | ADDETE+1 |

### 6.3.2 Adressage dans DRDS

| Partie du tableau DRDS | Signification | Adresse dans DRDS |
|---|---|---|
| DR1DS | $\left[\frac{\partial R_1}{\partial \sigma'^{+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \sigma_p^{+}}\right]$ | ADDEME, ADCOME |
| DR2DS | | ADDEME+NDIM-1, ADCOME |
| DR1P11 | $\left[\frac{\partial R_1}{\partial m_1^{1+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_1^{1+}}\right] ou$ $\left[\frac{\partial R_1}{\partial m_1^{1+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_1^{1+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial h_{1\mathrm{m}}^{1+}}\right]$ | ADDEME, ADCP11 |
| DR2P11 | | ADDEME+NDIM-1, ADCP11 |
| DR1P12 | $\left[\frac{\partial R_1}{\partial m_1^{2+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_1^{2+}}\right] ou$ $\left[\frac{\partial R_1}{\partial m_1^{2+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_1^{2+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial h_{1\mathrm{m}}^{2+}}\right]$ | ADDEME, ADCP12 |
| DR2P12 | | ADDEME+NDIM-1, ADCP12 |
| DR1P21 | $\left[\frac{\partial R_1}{\partial m_2^{1+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_2^{1+}}\right] ou$ $\left[\frac{\partial R_1}{\partial m_2^{1+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_2^{1+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial h_{2\mathrm{m}}^{1+}}\right]$ | ADDEME, ADCP21 |
| DR2P21 | | ADDEME+NDIM-1, ADCP21 |
| DR1P22 | $\left[\frac{\partial R_1}{\partial m_2^{2+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_2^{2+}}\right] ou$ $\left[\frac{\partial R_1}{\partial m_2^{2+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{M}_2^{2+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial h_{2\mathrm{m}}^{2+}}\right]$ | ADDEME, ADCP22 |
| DR2P22 | | ADDEME+NDIM-1, ADCP22 |
| DR1DT | $\left[\frac{\partial R_1}{\partial Q'^{+}} \quad \frac{\partial R_1}{\partial \mathbf{q}^{+}}\right]$ | ADDEME, ADCOTE |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

| | | | |
|---|---|---|---|
| DR2DT | | ADDEME+NDIM-1, | ADCOTE |
| DR3DS | | ADDEP1, | ADCOME |
| DR4DS | | ADDEP1+1, | ADCOME |
| DR3P11 | | ADDEP1, | ADCP11 |
| DR4P11 | | ADDEP1+1, | ADCP11 |
| DR3P21 | | ADDEP1, | ADCP21 |
| DR4P21 | | ADDEP1+ 1, | ADCP21 |
| DR3DT | | ADDEP1, | ADCOTE |
| DR4DT | | ADDEP1+ 1, | ADCOTE |
| DR5DS | | ADDEP2, | ADCOME |
| DR6DS | | ADDEP2+ 1, | ADCOME |
| DR5P11 | | ADDEP2, | ADCP11 |
| DR6P11 | | ADDEP2+ 1, | ADCP11 |
| DR5P21 | | ADDEP2, | ADCP21 |
| DR6P21 | | ADDEP2+1, | ADCP21 |
| DR5DT | | ADDEP2, | ADCOTE |
| DR6DT | | ADDEP2+ 1, | ADCOTE |
| DR7DS | | ADDETE, | ADCOME |
| DR8DS | | ADDETE+ 1, | ADCOME |
| DR7P11 | | ADDETE, | ADCP11 |
| DR8P11 | | ADDETE+ 1, | ADCP11 |
| DR7P21 | | ADDETE, | ADCP21 |
| DR8P21 | | ADDETE+ 1, | ADCP21 |
| DR7DT | | ADDETE, | ADCOTE |
| DR8DT | | ADDETE+1, | ADCOTE |

### 6.3.3 Adressage dans DSDE

| Partie (nom local à COMTHM) | Signification | Adresse dans DSDE |
|---|---|---|
| DMECDE | $\begin{bmatrix} \frac{\partial \sigma'}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial \sigma_p}{\partial \varepsilon} \end{bmatrix}$ | ADCOME, ADDEME |
| DMECP1 | $\begin{bmatrix} \frac{\partial \sigma'}{\partial p_1} & \frac{\partial \sigma'}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial \sigma_p}{\partial p_1} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial \nabla p_1} \end{bmatrix}$ | ADCOME, ADDEP1 |
| DMECP2 | $\begin{bmatrix} \frac{\partial \sigma'}{\partial p_2} & \frac{\partial \sigma'}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial \sigma_p}{\partial p_2} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial \nabla p_2} \end{bmatrix}$ | ADCOME, ADDEP2 |
| DMECDT | $\begin{bmatrix} \frac{\partial \sigma'}{\partial T} & \frac{\partial \sigma'}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial \sigma_p}{\partial T} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial \nabla T} \end{bmatrix}$ | ADCOME, ADDETE |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

| | | | |
|---|---|---|---|
| DP11DE | | $\begin{bmatrix} \frac{\partial m_1^1}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial h_{1m}^1}{\partial \varepsilon} \end{bmatrix}$ | ADCP11, ADDEME |
| DP11P1 | | $\begin{bmatrix} \frac{\partial m_1^1}{\partial p_1} & \frac{\partial m_1^1}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial h_{1m}^1}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{1m}^1}{\partial \nabla p_1} \end{bmatrix}$ | ADCP11, ADDEP1 |
| DP11P2 | | $\begin{bmatrix} \frac{\partial m_1^1}{\partial p_2} & \frac{\partial m_1^1}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial h_{1m}^1}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{1m}^1}{\partial \nabla p_2} \end{bmatrix}$ | ADCP11, ADDEP2 |
| DP11DT | | $\begin{bmatrix} \frac{\partial m_1^1}{\partial T} & \frac{\partial m_1^1}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial h_{1m}^1}{\partial T} & \frac{\partial h_{1m}^1}{\partial \nabla T} \end{bmatrix}$ | ADCP11, ADDETE |
| DP12DE | | $\begin{bmatrix} \frac{\partial m_1^2}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial h_{1m}^2}{\partial \varepsilon} \end{bmatrix}$ | ADCP12, ADDEME |
| DP12P1 | | $\begin{bmatrix} \frac{\partial m_1^2}{\partial p_1} & \frac{\partial m_1^2}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial h_{1m}^2}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{1m}^2}{\partial \nabla p_1} \end{bmatrix}$ | ADCP12, ADDEP1 |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

| | | |
|---|---|---|
| DP12P2 | $\begin{matrix} \frac{\partial m_1^2}{\partial p_2} & \frac{\partial m_1^2}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial \nabla p_2} \end{matrix}$ | ADCP12, ADDEP2 |
| DP12DT | $\begin{matrix} \frac{\partial m_1^2}{\partial T} & \frac{\partial m_1^2}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial T} & \frac{\partial h_{1\mathrm{m}}^2}{\partial \nabla T} \end{matrix}$ | ADCP12, ADDETE |
| DP21DE | $\begin{matrix} \frac{\partial m_2^1}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial \varepsilon} \end{matrix}$ | ADCP21, ADDEME |
| DP21P1 | $\begin{matrix} \frac{\partial m_2^1}{\partial p_1} & \frac{\partial m_2^1}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial \nabla p_1} \end{matrix}$ | ADCP21, ADDEP1 |
| DP21P2 | $\begin{matrix} \frac{\partial m_2^1}{\partial p_2} & \frac{\partial m_2^1}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial \nabla p_2} \end{matrix}$ | ADCP21, ADDEP2 |
| DP21DT | $\begin{matrix} \frac{\partial m_2^1}{\partial T} & \frac{\partial m_2^1}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial T} & \frac{\partial h_{2\mathrm{m}}^1}{\partial \nabla T} \end{matrix}$ | ADCP21, ADDETE |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

| | | |
|---|---|---|
| DP22DE | $\begin{bmatrix} \frac{\partial m_2^2}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial h_{2m}^2}{\partial \varepsilon} \end{bmatrix}$ | ADCP22, ADDEME |
| DP22P1 | $\begin{bmatrix} \frac{\partial m_2^2}{\partial p_1} & \frac{\partial m_2^2}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial h_{2m}^2}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{2m}^2}{\partial \nabla p_1} \end{bmatrix}$ | ADCP22, ADDEP1 |
| DP22P2 | $\begin{bmatrix} \frac{\partial m_2^2}{\partial p_2} & \frac{\partial m_2^2}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial h_{2m}^2}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{2m}^2}{\partial \nabla p_2} \end{bmatrix}$ | ADCP22, ADDEP2 |
| DP22DT | $\begin{bmatrix} \frac{\partial m_2^2}{\partial T} & \frac{\partial m_2^2}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial h_{2m}^2}{\partial T} & \frac{\partial h_{2m}^2}{\partial \nabla T} \end{bmatrix}$ | ADCP22, ADDETE |
| DTDE | $\begin{bmatrix} \frac{\partial Q'}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \varepsilon} \end{bmatrix}$ | ADCOTE, ADDEME |
| DTDP1 | $\begin{bmatrix} \frac{\partial Q'}{\partial p_1} & \frac{\partial Q'}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \nabla p_1} \end{bmatrix}$ | ADCOTE, ADDEP1 |
| DTDP2 | $\begin{bmatrix} \frac{\partial Q'}{\partial p_2} & \frac{\partial Q'}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \nabla p_2} \end{bmatrix}$ | ADCOTE, ADDEP2 |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

| | | | |
|---|---|---|---|
| DTDT | | $\begin{bmatrix} \frac{\partial \sigma'}{\partial T} & \frac{\partial \sigma'}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \nabla T} \end{bmatrix}$ | ADCOTE, ADDETE |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

## 6.4 Algorithme routine EQUTHM

```
YAMEC = MECA(1)
ADDEME = MECA(2)
ADCOME = MECA(3)
NDEFME = MECA(4)
NCONME = MECA(5)

YAP1 = PRESS1(1)
NBPHA1 = PRESS1(2)
ADDEP1 = PRESS1(3)
ADCP11 = PRESS1(4)
ADCP12 = PRESS1(5)
NDEFP1 = PRESS1(6)
NCONP1 = PRESS1(7)
YAP2 = PRESS2(1)
NBPHA2 = PRESS2(2)
ADDEP2 = PRESS2(3)
ADCP21 = PRESS2(4)
ADCP22 = PRESS2(5)
NDEFP2 = PRESS2(6)
NCONP2 = PRESS2(7)

YATE = TEMPE(1)
ADDETE = TEMPE(2)
ADCOTE = TEMPE(3)
NDEFT = TEMPE(4)
NCONT = TEMPE(5)

CALL COMTHM(
```

| | | | |
|---|---|---|---|
| COMPOR | OPTION | NDIM | NDDL |
| DIMDEF | DIMCON | NVIMEC | NVIHY , NVITM |
| NDEFME | NDEFP1 | NDEFP2 | NDEFT |
| NCONME | NCONP1 | NCONP2 | NCONT |
| YAP1 | NBPHA1 | YAP2 | NBPHA2 |
| DEFGEM(ADDEME) | DEFGEM(ADDEP1) | DEFGEM(ADDEP2) | DEFGEM(ADDETE) |
| DEFGEP(ADDEME) | DEFGEP(ADDEP1) | DEFGEP(ADDEP2) | DEFGEP(ADDETE) |
| CONGEM(ADCOME) | CONGEM(ADCOTE) | | |
| CONGEM(ADCP11) | CONGEM(ADCP12) | CONGEM(ADCP21) | CONGEM(ADCP21) |
| VINTM(ADVIME) | VINTM(ADVIHY) | VINTM (ADVITM) | |
| | | | |
| CONGEP(ADCOME) | CONGEP(ADCP11) | CONGEP(ADCP21) | CONGEP(ADCOTE) |
| VINTP(ADVIME) | VINTP(ADVIHY) | VINTP (ADVITM) | |
| DSDE (ADCOME,ADDEME) | DSDE (ADCOME,ADDEP1) | DSDE (ADCOME,ADDEP2) | DSDE (ADCOME,ADDETE) |
| DSDE (ADCP11,ADDEP1) | DSDE (ADCP11,ADDEME) | DSDE (ADCP11,ADDEP2) | DSDE (ADCP11,ADDETE) |
| DSDE (ADCP12,ADDEP1) | DSDE (ADCP12,ADDEME) | DSDE (ADCP12,ADDEP2) | DSDE (ADCP12,ADDETE) |
| DSDE (ADCP21,ADDEP2) | DSDE (ADCP21,ADDEME) | DSDE (ADCP21,ADDEP1) | DSDE (ADCP21,ADDETE) |
| DSDE (ADCP22,ADDEP2) | DSDE (ADCP22,ADDEME) | DSDE (ADCP22,ADDEP1) | DSDE (ADCP22,ADDETE) |
| DSDE (ADCOTE,ADDETE) | DSDE (ADCOTE,ADDEME) | DSDE (ADCOTE,ADDEP1) | DSDE (ADCOTE,ADDEP2) |

```
)
```



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Si FULL_MECA ou RAPH_MECA

Si YAMEC

Injection des termes $\sigma'^{+}+\sigma_p^{+}I$ dans R(ADDEME+NDIM-1)

Injection des termes : $-r_0\mathbf{F}^{m^+}$ dans R(ADDEME)

Si YAP1

Injection des termes $-m_1^{1+}+m_1^{1-}$ ou $-m_1^{1+}-m_1^{2+}+m_1^{1-}+m_1^{2-}$ dans R(ADDEP1)

Injection des termes

$\Delta t\theta\,\mathbf{M}_1^{1+}+(1-\theta)\Delta t\,\mathbf{M}_1^{1-}$ ou

$\theta\Delta t\left(\mathbf{M}_1^{1+}+\mathbf{M}_1^{2+}\right)+(1-\theta)\Delta t\left(\mathbf{M}_1^{1-}+\mathbf{M}_1^{2-}\right)$

dans R(ADDEP1+1)

SI YAMEC

Injection des termes :

$-m_1^{1+}\mathbf{F}^{m^+}$ ou $-\left(m_1^{1+}+m_1^{2+}\right)\mathbf{F}^{m^+}$ dans R(ADDEME)

Si YATE

Injection des termes :

$\Delta t\left(\theta h_{1\mathrm{m}}^{1+}+(1-\theta)h_{1\mathrm{m}}^{1-}\right)\left(m_1^{1+}-m_1^{1-}\right)-\theta\Delta t\,\mathbf{M}_1^{1+}\boldsymbol{F}^m-(1-\theta)\Delta t\,\mathbf{M}_1^{1-}\boldsymbol{F}^m$

ou

$\Delta t\left(\theta h_{1\mathrm{m}}^{1+}+(1-\theta)h_{1\mathrm{m}}^{1-}\right)\left(m_1^{1+}-m_1^{1-}\right)+\Delta t\left(\theta h_{1\mathrm{m}}^{2+}+(1-\theta)h_{1\mathrm{m}}^{2-}\right)\left(m_1^{2+}-m_1^{2-}\right)$

$-\theta\Delta t\,\mathbf{M}_1^{1+}\boldsymbol{F}^m-(1-\theta)\Delta t\,\mathbf{M}_1^{1-}\boldsymbol{F}^m-\theta\Delta t\,\mathbf{M}_1^{2+}\boldsymbol{F}^m-(1-\theta)\Delta t\,\mathbf{M}_1^{2-}\boldsymbol{F}^m$

dans R(ADDETE)

Injection des termes

$-\theta\Delta t\,h_{1\mathrm{m}}^{1+}\mathbf{M}_1^{1+}-(1-\theta)-\theta\Delta t\,h_{1\mathrm{m}}^{1-}\mathbf{M}_1^{1-}$ ou

$-\theta\Delta t\left(h_{1\mathrm{m}}^{1+}\mathbf{M}_1^{1+}+h_{1\mathrm{m}}^{2+}\mathbf{M}_1^{2+}\right)-(1-\theta)\Delta t\left(h_{1\mathrm{m}}^{1-}\mathbf{M}_1^{1-}+h_{1\mathrm{m}}^{2-}\mathbf{M}_1^{2-}\right)$

dans R(ADDETE+1)

Si YAP2

Injection des termes $+m_2^{1+}-m_2^{1-}$ ou $+m_2^{1+}+m_2^{2+}-m_2^{1-}-m_2^{2-}$ dans R(ADDEP2)

Injection des termes

$\Delta t\theta\,\mathbf{M}_2^{1+}+(1-\theta)\Delta t\,\mathbf{M}_2^{1-}$ ou

$\theta\Delta t\left(\mathbf{M}_2^{1+}+\mathbf{M}_2^{2+}\right)+(1-\theta)\Delta t\left(\mathbf{M}_2^{1-}+\mathbf{M}_2^{2-}\right)$

dans R(ADDEP2+1)

SI YAMEC

Injection des termes :

$-m_2^{1+}\mathbf{F}^{m^+}$ ou $-\left(m_2^{1+}+m_2^{2+}\right)\mathbf{F}^{m^+}$ dans R(ADDEME)

Si YATE

Injection des termes :

$\Delta t\left(\theta h_{2\mathrm{m}}^{1+}+(1-\theta)h_{2\mathrm{m}}^{1-}\right)\left(m_2^{1+}-m_2^{1-}\right)-\theta\Delta t\,\mathbf{M}_2^{1+}\boldsymbol{F}^m-(1-\theta)\Delta t\,\mathbf{M}_2^{1-}\boldsymbol{F}^m$

ou

$\Delta t\left(\theta h_{2\mathrm{m}}^{1+}+(1-\theta)h_{2\mathrm{m}}^{1-}\right)\left(m_2^{1+}-m_2^{1-}\right)+\Delta t\left(\theta h_{2\mathrm{m}}^{2+}+(1-\theta)h_{2\mathrm{m}}^{2-}\right)\left(m_2^{2+}-m_2^{2-}\right)$

$-\theta\Delta t\,\mathbf{M}_2^{1+}\boldsymbol{F}^m-(1-\theta)\Delta t\,\mathbf{M}_2^{1-}\boldsymbol{F}^m-\theta\Delta t\,\mathbf{M}_2^{2+}\boldsymbol{F}^m-(1-\theta)\Delta t\,\mathbf{M}_2^{2-}\boldsymbol{F}^m$

dans R(ADDETE)



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Injection des termes
$-\theta \Delta t\, h_{2\mathrm{m}}^{1+}\, \mathbf{M}_2^{1+} - (1-\theta) - \theta \Delta t\, h_{2\mathrm{m}}^{1-}\, \mathbf{M}_2^{1-}$ ou
$-\theta \Delta t \left( h_{2\mathrm{m}}^{1+}\, \mathbf{M}_2^{1+} + h_{2\mathrm{m}}^{2+}\, \mathbf{M}_2^{2+} \right) - (1-\theta) \Delta t \left( h_{2\mathrm{m}}^{1-}\, \mathbf{M}_2^{1-} + h_{2\mathrm{m}}^{2-}\, \mathbf{M}_2^{2-} \right)$
dans R(ADDETE+1)

Si YATE

Injection des termes : $Q'^{+} - Q'^{-}$ dans R(ADDETE)

Injection des termes $-\theta \Delta t\, \mathbf{q}^{+} - (1-\theta) \Delta t\, \mathbf{q}^{-}$ dans R(ADDETE+1)

Accumulation dans vecteur V :

$$\{\mathbf{V}\} = \{\mathbf{V}\} + \left[\mathbf{B}_g^{el}\right]^T \{R\}$$



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

SI RAPH_MECA ou RIGI_MECA_TANG
- SI YAMEC
  - calcul de DR1DS et injection en DRDS(ADDEME,ADCOME)
  - calcul de DR2DS et injection en DRDS(ADDEME+NDIM-1,ADCOME)
  - SI YAP1
    - calcul de DR1P11 et injection en DRDS(ADDEME,ADCP11)
    - calcul de DR2P11 et injection en DRDS(ADDEME+NDIM-1, ADCP11)
    - SI NBPHA1 > 1
      - calcul de DR1P12 et injection en DRDS(ADDEME,ADCP12)
      - calcul de DR2P12 et injection en DRDS(ADDEME+NDIM-1, ADCP12)
  - SI YAP2
    - calcul de DR1P21 et injection en DRDS(ADDEME,ADCP21)
    - calcul de DR2P21 et injection en DRDS(ADDEME+NDIM-1, ADCP21)
    - SI NBPHA2 > 1
      - calcul de DR1P22 et injection en DRDS(ADDEME,ADCP22)
      - calcul de DR2P22 et injection en DRDS(ADDEME+NDIM-1, ADCP22)
  - SI YATE
    - calcul de DR1DT et injection en DRDS(ADDEME,ADCOTE)
    - calcul de DR2DT et injection en DRDS(ADDEME+NDIM-1, ADCOTE)
- SI YAP1
  - calcul de DR3P11 et injection en DRDS(ADDEP1,ADCP11)
  - calcul de DR4P11 et injection en DRDS(ADDEP1+1,ADCP11)
  - SI NBPHA1 > 1
    - calcul de DR3P12 et injection en DRDS(ADDEP1,ADCP12)
    - calcul de DR4P12 et injection en DRDS(ADDEP1+1,ADCP12)
  - SI YAMEC
    - calcul de DR3DS et injection en DRDS(ADDEP1,ADCOME)
    - calcul de DR4DS et injection en DRDS(ADDEP1+1, ADCOME)
  - SI YAP2
    - calcul de DR3P21 et injection en DRDS(ADDEP1,ADCP21)
    - calcul de DR4P21 et injection en DRDS(ADDEP1+ 1, ADCP21)
    - SI NBPHA2 > 1
      - calcul de DR3P22 et injection en DRDS(ADDEP1,ADCP22)
      - calcul de DR4P21 et injection en DRDS(ADDEP1+ 1, ADCP22)
  - SI YATE
    - calcul de DR3DT et injection en DRDS(ADDEP1,ADCOTE)
    - calcul de DR4DT et injection en DRDS(ADDEP1+ 1, ADCOTE)
- SI YAP2
  - calcul de DR5P21 et injection en DRDS(ADDEP2,ADCP21)
  - calcul de DR6P21 et injection en DRDS(ADDEP2+1,ADCP21)
  - SI NBPHA2 > 1
    - calcul de DR5P22 et injection en DRDS(ADDEP2,ADCP22)
    - calcul de DR6P22 et injection en DRDS(ADDEP2+1,ADCP22)
  - SI YAMEC
    - calcul de DR5DS et injection en DRDS(ADDEP2,ADCOME)
    - calcul de DR6DS et injection en DRDS(ADDEP2+ 1, ADCOME)
  - YAP1 donc :
  - calcul de DR5P11 et injection en DRDS(ADDEP2,ADCP11)
  - calcul de DR6P11 et injection en DRDS(ADDEP2+ 1, ADCP11)
  - SI NBPHA1 > 1
    - calcul de DR5P12 et injection en DRDS(ADDEP2,ADCP12)
    - calcul de DR6P12 et injection en DRDS(ADDEP2+ 1, ADCP12)
  - SI YATE
    - calcul de DR5DT et injection en DRDS(ADDEP2,ADCOTE)
    - calcul de DR6DT et injection en DRDS(ADDEP2+ 1, ADCOTE)
- SI YATE
  - calcul de DR7DT et injection en DRDS(ADDETE,ADCOTE)
  - calcul de DR8DT et injection en DRDS(ADDETE+1,ADCOTE)
  - SI YAMEC


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

calcul de DR7DS et injection en DRDS(ADDETE,ADCOME)
calcul de DR8DS et injection en DRDS(ADDETE+ 1, ADCOME)
SI YAP1
calcul de DR7P11 et injection en DRDS(ADDETE,ADCP11)
calcul de DR8P11 et injection en DRDS(ADDETE+ 1, ADCP11)
SI NBPHA1 > 1
calcul de DR7P12 et injection en DRDS(ADDETE,ADCP12)
calcul de DR8P12 et injection en DRDS(ADDETE+ 1, ADCP12)
SI YAP2
calcul de DR7P21 et injection en DRDS(ADDETE,ADCP21)
calcul de DR8P21 et injection en DRDS(ADDETE+ 1, ADCP21)
SI NBPHA1 > 1
calcul de DR7P22 et injection en DRDS(ADDETE,ADCP22)
calcul de DR8P22 et injection en DRDS(ADDETE+ 1, ADCP22)

$$\left[\mathbf{DRDE}\right]=\left[\mathbf{DRDS}\right]\cdot\left[\mathbf{DSDE}\right]$$

$$\left[\mathbf{DF}^{el}_{\boldsymbol{g}\,i(u_n^+,P_n^+,T_n^+)}\right]=\left[\mathbf{B}_g^{el}\right]^T\cdot\left[\mathbf{DRDE}\right]\cdot\left[\mathbf{B}_g^{el}\right]$$ accumulé dans MAT

## 6.5 Arguments de la routine d'appel des lois de comportement

```
SUBROUTINE COMTHM(
```

| **ARGUMENTS D'ENTREE : IN** | | | |
|---|---|---|---|
| COMPOR | OPTION | NDIM | NDDL |
| DIMDEF | DIMCON | NVIMEC | NVIHY , NVITM |
| NDEFME | NDEFP1 | NDEFP2 | NDEFT |
| NCONME | NCONP1 | NCONP2 | NCONT |
| YAP1 | NBPHA1 | YAP2 | NBPHA2 |
| DEMECM<br>$\mathbf{u}$ , $\underline{\underline{\varepsilon}}(\mathbf{u})$<br>temps moins | DEP1M<br>$p_1$, $\nabla p_1$<br>temps moins | DEP2M<br>$p_2$, $\nabla p_2$<br>temps moins | DETM<br>$T$ , $\nabla T$<br>temps moins |
| DEMECP<br>$\mathbf{u}$ , $\underline{\underline{\varepsilon}}(\mathbf{u})$<br>temps plus | DEP1P<br>$p_1$, $\nabla p_1$<br>temps plus | DEP2P<br>$p_2$, $\nabla p_2$<br>temps plus | DETP<br>$T$ , $\nabla T$<br>temps plus |
| COMECM<br>$\underline{\underline{\sigma}}'$, $\sigma_p$<br>temps moins | COTM<br>$Q'$, $\mathbf{q}$<br>temps moins | | |
| CP11M<br>$m_1^1$, $\mathbf{M}_1^1$ ou<br>$m_1^1$, $\mathbf{M}_1^1$, $h_{1\mathrm{m}}^1$<br>temps moins | CP12M<br>$m_1^2$, $\mathbf{M}_1^2$ ou<br>$m_1^2$, $\mathbf{M}_1^2$, $h_{1\mathrm{m}}^2$<br>temps moins | CP21M<br>$m_2^1$, $\mathbf{M}_2^1$ ou<br>$m_2^1$, $\mathbf{M}_2^1$, $h_{2\mathrm{m}}^1$<br>temps moins | CP21M<br>$m_2^2$, $\mathbf{M}_2^2$ ou<br>$m_2^1$, $\mathbf{M}_2^1$, $h_{2\mathrm{m}}^1$<br>temps moins |
| VIMEM<br>variables internes méca<br>temps moins | VIHYM<br>variables internes hydro<br>temps moins | VITMM<br>variables internes therm<br>temps moins | |
| **ARGUMENTS DE SORTIE : OUT** | | | |
| COMECP<br>$\underline{\underline{\sigma}}'$, $\sigma_p$<br>temps plus | COTP<br>$Q'$, $\mathbf{q}$<br>temps plus | | |
| CP11P<br>$m_1^1$, $\mathbf{M}_1^1$ ou<br>$m_1^1$, $\mathbf{M}_1^1$, $h_{1\mathrm{m}}^1$ | CP12P<br>$m_1^2$, $\mathbf{M}_1^2$ ou<br>$m_1^2$, $\mathbf{M}_1^2$, $h_{1\mathrm{m}}^2$ | CP21P<br>$m_2^1$, $\mathbf{M}_2^1$ ou<br>$m_2^1$, $\mathbf{M}_2^1$, $h_{2\mathrm{m}}^1$ | CP21P<br>$m_2^2$, $\mathbf{M}_2^2$ ou<br>$m_2^1$, $\mathbf{M}_2^1$, $h_{2\mathrm{m}}^1$ |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

| temps plus | temps plus | temps plus | temps plus |
|---|---|---|---|
| VIMEP<br>variables internes méca<br>temps plus | VIHYP<br>variables internes hydro<br>temps plus | VITMP<br>variables internes therm<br>temps plus | |
| DMECDE<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial \sigma'}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial \sigma_p}{\partial \varepsilon} \end{bmatrix}$ | DMECP1<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial \sigma'}{\partial p_1} & \frac{\partial \sigma'}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial \sigma_p}{\partial p_1} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial \nabla p_1} \end{bmatrix}$ | DMECP2<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial \sigma'}{\partial p_2} & \frac{\partial \sigma'}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial \sigma_p}{\partial p_2} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial \nabla p_2} \end{bmatrix}$ | DMECDT<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial \sigma'}{\partial T} & \frac{\partial \sigma'}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial \sigma_p}{\partial T} & \frac{\partial \sigma_p}{\partial \nabla T} \end{bmatrix}$ |
| DP11DE<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial m_1^1}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial h_{1m}^1}{\partial \varepsilon} \end{bmatrix}$ | DP11P1<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial m_1^1}{\partial p_1} & \frac{\partial m_1^1}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial h_{1m}^1}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{1m}^1}{\partial \nabla p_1} \end{bmatrix}$ | DP11P2<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial m_1^1}{\partial p_2} & \frac{\partial m_1^1}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial h_{1m}^1}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{1m}^1}{\partial \nabla p_2} \end{bmatrix}$ | DP11DT<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial m_1^1}{\partial T} & \frac{\partial m_1^1}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^1}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial h_{1m}^1}{\partial T} & \frac{\partial h_{1m}^1}{\partial \nabla T} \end{bmatrix}$ |
| DP12DE<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial m_1^2}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial h_{1m}^2}{\partial \varepsilon} \end{bmatrix}$ | DP12P1<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial m_1^2}{\partial p_1} & \frac{\partial m_1^2}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial h_{1m}^2}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{1m}^2}{\partial \nabla p_1} \end{bmatrix}$ | DP12P2<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial m_1^2}{\partial p_2} & \frac{\partial m_1^2}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial h_{1m}^2}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{1m}^2}{\partial \nabla p_2} \end{bmatrix}$ | DP12DT<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial m_1^2}{\partial T} & \frac{\partial m_1^2}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_1^2}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial h_{1m}^2}{\partial T} & \frac{\partial h_{1m}^2}{\partial \nabla T} \end{bmatrix}$ |
| DP21DE<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial m_2^1}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial h_{2m}^1}{\partial \varepsilon} \end{bmatrix}$ | DP21P1<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial m_2^1}{\partial p_1} & \frac{\partial m_2^1}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial h_{2m}^1}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{2m}^1}{\partial \nabla p_1} \end{bmatrix}$ | DP21P2<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial m_2^1}{\partial p_2} & \frac{\partial m_2^1}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial h_{2m}^1}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{2m}^1}{\partial \nabla p_2} \end{bmatrix}$ | DP21DT<br>$\begin{bmatrix} \frac{\partial m_2^1}{\partial T} & \frac{\partial m_2^1}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^1}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial h_{2m}^1}{\partial T} & \frac{\partial h_{2m}^1}{\partial \nabla T} \end{bmatrix}$ |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

| | | | |
|---|---|---|---|
| DP22DE $\begin{bmatrix} \frac{\partial m_2^2}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial h_{2m}^2}{\partial \varepsilon} \end{bmatrix}$ | DP22P1 $\begin{bmatrix} \frac{\partial m_2^2}{\partial p_1} & \frac{\partial m_2^2}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial h_{2m}^2}{\partial p_1} & \frac{\partial h_{2m}^2}{\partial \nabla p_1} \end{bmatrix}$ | DP22P2 $\begin{bmatrix} \frac{\partial m_2^2}{\partial p_2} & \frac{\partial m_2^2}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial h_{2m}^2}{\partial p_2} & \frac{\partial h_{2m}^2}{\partial \nabla p_2} \end{bmatrix}$ | DP22DT $\begin{bmatrix} \frac{\partial m_2^2}{\partial T} & \frac{\partial m_2^2}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{M}_2^2}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial h_{2m}^2}{\partial T} & \frac{\partial h_{2m}^2}{\partial \nabla T} \end{bmatrix}$ |
| DTDE $\begin{bmatrix} \frac{\partial Q'}{\partial \varepsilon} \\ \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \varepsilon} \end{bmatrix}$ | DTDP1 $\begin{bmatrix} \frac{\partial Q'}{\partial p_1} & \frac{\partial Q'}{\partial \nabla p_1} \\ \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial p_1} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \nabla p_1} \end{bmatrix}$ | DTDP2 $\begin{bmatrix} \frac{\partial Q'}{\partial p_2} & \frac{\partial Q'}{\partial \nabla p_2} \\ \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial p_2} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \nabla p_2} \end{bmatrix}$ | DTDT $\begin{bmatrix} \frac{\partial Q'}{\partial T} & \frac{\partial Q'}{\partial \nabla T} \\ \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial T} & \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \nabla T} \end{bmatrix}$ |

)

```
REAL*8
       DEMECM(NDEFME), DEP1M(NDEFP1), DEP2M(NDEFP2), DETM(NDEFT)
       DEMECP(NDEFME), DEP1P(NDEFP1), DEP2P(NDEFP2), DETP(NDEFT)
       COMECM(NCONME), CP11M(NCONP1), CP21M(NCONP2), COTM(NCONT)

       VIMEM(NVIMEC), VIHYM(NVIHY) , VITMM (NVITM)

       COMECP(NCONME), CP11P(NCONP1), CP21P(NCONP2), COTP(NCONT)
       VIMEP(NVIMEC), VIHYP(NVIHY), VITMP (NVITM)

       DMECDE(NCONME,NDEFME),DMECP1(NCONME,NDEFP1),
       DMECP2(NCONME,NDEFP2),DMECDT(NCONME,NDEFT)
       DP11DE(NCONP1,NDEFME),DP11P1(NCONP1,NDEFP1),
       DP11P2(NCONP1,NDEFP2),DP11DT(NCONP1,NDEFT)
       DP21DE(NCONP2,NDEFME),DP21P1(NCONP2,NDEFP1,
       DP21P2(NCONP2,NDEFP2,DP21DT(NCONP2,NDEFT)

       DP12DE(NCONP1,NDEFME),DP12P1(NCONP1,NDEFP1),
       DP12P2(NCONP1,NDEFP2),DP12DT(NCONP1,NDEFT)
       DP22DE(NCONP2,NDEFME),DP22P1(NCONP2,NDEFP1,
       DP22P2(NCONP2,NDEFP2,DP22DT(NCONP2,NDEFT)


       DTDE(NCONT2,NDEFME),DTDP1(NCONT2,NDEFP1),
       DTDP2(NCONT2,NDEFP2),DTDT(NCONT2,NDEFT)
```



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 7 Éléments finis en THM

## 7.1 Attributs dans les catalogues

Pour identifier un élément fini de type THM dans le catalogue `phenomenons_modelisation`, on utilise les attributs suivants :

- Attribut `TYPMOD2='THM'` pour dire que cet élément permet le couplage THM ;
- Attribut `THER = 'OUI'/'NON'` quand on de la thermique :
- Attribut `MECA = 'OUI'/'NON'` quand on de la mécanique :
- Attribut `HYDR1 = '0', '1'` ou `'2'` selon le nombre de phases du premier constituant ;
- Attribut `HYDR2 = '0', '1'` ou `'2'` selon le nombre de phases du second constituant.



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Page laissée intentionnellement blanche



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)