Conditions de liaison de corps solide

Résumé

On présente dans cette documentation une manière de modéliser des parties indéformables de structure, en petits déplacements et rotations, grâce au mot clé LIAISON_SOLIDE de AFFE_CHAR_MECA.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Table des matières

1 Introduction 3
2 Principe de l'utilisation du mot clé 3
3 Quels sont les cas de figure traités ? 4
4 Traitement des cas 2DA et 3DA 5
4.1 Cas 2DA 5
4.2 Cas 3DA 5
5 Traitement du cas 2DB 6
5.1 Cas général 6
5.2 Cas particuliers 6
6 Traitement du cas 3DB 7
6.1 Cas général 7
6.1.1 Traitement des points A, B, C et détermination du vecteur rotation θ 7
6.1.2 Relations concernant un point M □ (A, B, C) 8
6.1.3 Résumé des équation à écrire 9
6.2 Cas particuliers 9
7 Comment détecter les cas particuliers ? 11
8 Description des versions du document 11

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

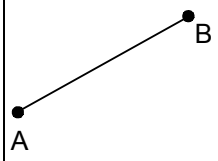
1 Introduction

Le mot clé LIAISON_SOLIDE des commandes AFFE_CHAR_MECA et (AFFE_CHAR_MECA_F) permet de modéliser une partie indéformable d'une structure.

Le principe retenu est d'écrire des relations linéaires entre les degrés de liberté de la partie "solide" ; ces relations exprimant le fait que les distances entre les nœuds sont invariables.

Remarque importante :

Les relations exprimant l'indéformabilité d'un solide ne sont en général pas linéaires. La linéarisation du problème suppose que le problème peut être résolu en théorie des "petits déplacements". Pour s'en convaincre, prenons l'exemple d'un segment AB en 2D :



L'indéformabilité de AB s'écrit :

$$\left[\left(x_A+dx_A\right)-\left(x_B+dx_B\right)\right]^2+\left[\left(y_A+dy_A\right)-\left(y_B+dy_B\right)\right]^2=\left(x_A-x_B\right)^2+\left(y_A-y_B\right)^2$$
$$\Leftrightarrow\left(dx_B-dx_A\right)^2+2\left(x_B-x_A\right)\left(dx_B-dx_A\right)+\left(dy_B-dy_A\right)^2+2\left(y_B-y_A\right)\left(dy_B-dy_A\right)=0$$

$$\text{en notant } \left\{\begin{array}{c} x_A, y_A, x_B, y_B \text{ les coordonnées de A et B} \\ dx_A, dy_A, dx_B, dy_B \text{ les déplacements de A et B} \end{array}\right\}$$

on voit que l'expression est quadratique en dx_A, dx_B, dy_A et dy_B. Pour pouvoir la linéariser, il faut éliminer les termes quadratiques et pour cela, on est obligé de supposer que les éléments dx_A, dx_B, dy_A et dy_B sont petits en regard de la longueur de AB.

Cette remarque veut dire que l'on ne peut pas utiliser ce mot clé lorsque la structure se déforme (ou tourne) trop. Dans de telles situations, pour "rigidifier" une partie solide, on est obligé d'utiliser un matériau "dur" (par rapport au reste de la structure).

2 Principe de l'utilisation du mot clé

Le mot clé LIAISON_SOLIDE est un mot clé facteur répétable à volonté. A chaque occurrence du mot clé, l'utilisateur définit un "morceau de modèle" qu'il souhaite rigidifier.

De ce "morceau de modèle" défini par les mots clés GROUP_MA, GROUP_NO, MAILLE et NOEUD, on déduit la **liste des nœuds** à rigidifier.

Une fois cette liste établie, on écrit les relations linéaires nécessaires pour exprimer que le "morceau rigide" n'a plus que les degrés de liberté d'un solide (3 en 2D ou 6 en 3D).

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Quels sont les cas de figure traités ?

Selon les degrés de liberté portés par les nœuds de la liste des nœuds à rigidifier, on se place dans un des quatre cas de figure suivants. Si on ne se retrouve pas dans l'un de ces cas de figure, le code s'arrête en erreur fatale

Les cas 2DA et 2DB correspondent à des problèmes "plans" ou axisymétriques.
Les cas 3DA et 3DB correspondent à des problèmes 3D.

Cas 2DA **:**

Tous les nœuds de la liste des nœuds à rigidifier portent les degrés de liberté DX, DY (et éventuellement DRZ) mais ils ne portent pas DRX, DRY et DZ et il existe au moins un nœud de la liste des nœuds à rigidifier qui porte DRZ.

Cas 2DB **:**

Tous les nœuds de la liste des nœuds à rigidifier portent DX, DY mais ils ne portent pas DRX, DRY et DZ.

Cas 3DA **:**

Tous les nœuds de la liste des nœuds à rigidifier portent DX, DY, DZ (et éventuellement DRX, DRY, DRZ) et il existe un nœud de la liste des nœuds à rigidifier qui porte DRX, DRY, DRZ.

Cas 3DB **:**

Tous les nœuds de la liste des nœuds à rigidifier portent DX, DY, DZ et il n'existe pas de noeud de la liste des nœuds à rigidifier portant à la fois DRX, DRY, DRZ.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Traitement des cas 2DA et 3DA

Dans ces 2 cas de figure, on a pu trouver un noeud de la liste des noeuds à rigidifier qui portait **tous** les degrés de liberté du solide. Soit A ce noeud.

en 2D : DX, DY, DRZ
en 3D : DX, DY, DZ, DRX, DRY, DRZ

Soit un nœud M de la liste des nœuds à rigidifier quelconque.

En théorie des petits déplacements, le mouvement d'un corps solide s'exprime par :

$$\boldsymbol{U}_M = \boldsymbol{U}_A + \boldsymbol{\theta} \wedge \mathbf{AM} \text{ où } \left\{ \begin{array}{l} \boldsymbol{U}_A \text{ est de déplacement de A} \\ \boldsymbol{\theta} \text{ le vecteur rotation du solide} \end{array} \right\}$$

4.1 Cas 2DA

On écrit les relations linéaires :

$$\forall M \neq A : \left\{ \begin{array}{l} DX(M) - DX(A) + y\, DRZ(A) = 0 \\ DY(M) - DY(A) - x\, DRZ(A) = 0 \end{array} \right\} \quad avec\ \boldsymbol{AM} = \left(\begin{array}{c} x \\ y \end{array} \right)$$
$$+\text{si } M \text{ porte DRZ} : DRZ(M) - DRZ(A) = 0$$

4.2 Cas 3DA

$$\forall M \neq A : \left\{ \begin{array}{l} DX(M) - DX(A) - DRY(A).z + DRZ(A).y = 0 \\ DY(M) - DY(A) - DRZ(A).x + DRX(A).z = 0 \\ DZ(M) - DZ(A) - DRX(A).y + DRY(A).x = 0 \end{array} \right\}$$

$$+\text{si } M \text{ porte } DRX, DRY, \text{DRZ} : \left\{ \begin{array}{l} DRX(M) - DRX(A) = 0 \\ DRY(M) - DRY(A) = 0 \\ DRZ(M) - DRZ(A) = 0 \end{array} \right\}$$

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Traitement du cas 2DB

5.1 Cas général

$\exists A$ et B dans la liste des nœuds à rigidifier / $d(A,B)\neq 0$

- détermination de θ :

  Soit $\boldsymbol{n}=\mathbf{AB}\wedge\boldsymbol{k}=\begin{pmatrix} n_x \\ n_y \end{pmatrix}$ (k vecteur unitaire selon O_z).

$$\boldsymbol{U}_B-\boldsymbol{U}_A-\boldsymbol{\theta}\,\boldsymbol{k}\wedge\mathbf{AB}\Rightarrow\begin{Bmatrix}(\boldsymbol{U}_B-\boldsymbol{U}_A).\mathbf{AB}=0\\(\boldsymbol{U}_B-\boldsymbol{U}_A).\boldsymbol{n}-\boldsymbol{\theta}(\boldsymbol{k}\wedge\mathbf{AB}).\boldsymbol{n}=0\end{Bmatrix}$$

- puisque $\|\mathbf{AB}\|\neq 0$, on peut déterminer θ :

$$\Rightarrow\theta=\frac{1}{(kL\,\mathbf{AB}).n}\left(DX(B).n_x-DX(A).n_x+DY(B).n_y-DY(B).n_y\right)$$

$$\text{Soit }\alpha=\frac{1}{(kL\,\mathbf{AB}).n}\;;n'=\alpha n=\begin{pmatrix} n'_x \\ n'_y \end{pmatrix}$$

- équations à écrire :
  - $(U_B-U_A).\mathbf{AB}=0$ (1 7équation pour les 2 points Aet B)
  - $\forall M\neq(A,B):\mathbf{AM}=\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$

$$\begin{Bmatrix}DX(M)-DX(A)+y\left(DX(B).n'_x-DX(A).n'_x+DY(B).n'_y-DY(A)n'_y\right)=0\\DY(M)-DY(A)-x\left(DX(B).n'_x-DX(A).n'_x+DY(B).n'_y-DY(A)n'_y\right)=0\end{Bmatrix}$$

5.2 Cas particuliers

- liste des nœuds à rigidifier = $\{A\}\rightarrow$ il n'y a rien à écrire $\Rightarrow\langle A\rangle$ larme,
- liste des nœuds à rigidifier = $\{A_i\}$ où tous les A_i ont les mêmes coordonnées.

  Soit A_o le premier nœud de la liste des nœuds à rigidifier

  $\forall A_i\neq A_o$ il faut écrire $\begin{Bmatrix}DX(A_i)-DX(A_0)=0\\DY(A_i)-DY(A_0)=0\end{Bmatrix}$

Remarque :

θ *est indéterminé*

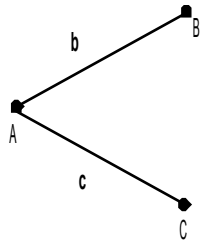
Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Traitement du cas 3DB

6.1 Cas général

$\exists A, B, C$ dans la liste des nœuds à rigidifier tels que ABC soit un triangle de surface non nulle

6.1.1 Traitement des points A, B, C et détermination du vecteur rotation θ



$$\boldsymbol{b}=\mathbf{AB}\,;\boldsymbol{c}=\mathbf{AC}\,;\boldsymbol{m}=\mathbf{AM}$$

Soit $\boldsymbol{n}=\boldsymbol{b}\wedge\boldsymbol{c}$
$\boldsymbol{b}'=\boldsymbol{b}\wedge\boldsymbol{n}\,;\boldsymbol{c}'=\boldsymbol{c}\wedge\boldsymbol{n}$

$$\forall M\,,\boldsymbol{U}_{M}-\boldsymbol{U}_{A}=\boldsymbol{\theta}\wedge\boldsymbol{M} \qquad \text{éq 6.1-1}$$

- pour les points B et C : $\begin{cases}\boldsymbol{U}_{B}-\boldsymbol{U}_{A}=\boldsymbol{\theta}\wedge\boldsymbol{b}\\ \boldsymbol{U}_{C}-\boldsymbol{U}_{A}=\boldsymbol{\theta}\wedge\boldsymbol{c}\end{cases}$

$$\boldsymbol{U}_{B}-\boldsymbol{U}_{A}.\boldsymbol{n}=\boldsymbol{\theta}.\boldsymbol{b}' \qquad \text{éq 6.1-2}$$
$$\boldsymbol{U}_{B}-\boldsymbol{U}_{A}.\boldsymbol{c}=\boldsymbol{\theta}.\boldsymbol{n} \qquad \text{éq 6.1-3}$$
$$\boldsymbol{U}_{B}-\boldsymbol{U}_{A}.\boldsymbol{b}=0 \qquad \text{éq 6.1-4}$$
$$\boldsymbol{U}_{C}-\boldsymbol{U}_{A}.\boldsymbol{n}=\boldsymbol{\theta}.\boldsymbol{c}' \qquad \text{éq 6.1-5}$$
$$\boldsymbol{U}_{C}-\boldsymbol{U}_{A}.\boldsymbol{b}=-\boldsymbol{\theta}.\boldsymbol{n} \qquad \text{éq 6.1-6}$$
$$\boldsymbol{U}_{C}-\boldsymbol{U}_{A}.\boldsymbol{c}=0 \qquad \text{éq 6.1-7}$$
$$\boldsymbol{U}_{B}-\boldsymbol{U}_{A}.\boldsymbol{c}+\boldsymbol{U}_{C}-\boldsymbol{U}_{A}.\boldsymbol{b}=0 \qquad \text{éq 6.1-8}$$

Des 6 équations concernant les points B et C,

- 3 sont à écrire : [éq 6.1-4], [éq 6.1-7] et [éq 6.1-8] (elles ne font pas intervenir θ)
- 3 servent à déterminer θ :

$$\begin{cases}\boldsymbol{\theta}.\boldsymbol{b}'=\left(\boldsymbol{U}_{B}-\boldsymbol{U}_{A}\right).\boldsymbol{n}\\ \boldsymbol{\theta}.\boldsymbol{c}'=\left(\boldsymbol{U}_{C}-\boldsymbol{U}_{A}\right).\boldsymbol{n}\\ \boldsymbol{\theta}.\boldsymbol{n}'=\left(\boldsymbol{U}_{B}-\boldsymbol{U}_{A}\right).\boldsymbol{c}\end{cases} \qquad \text{éq 6.1-9}$$

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6.1.2 Relations concernant un point $M \neq (A, B, C)$

Soit $\left\{ \begin{array}{l} U_{ABCM} \text{ le vecteur } : (U_A, V_A, W_A, \boldsymbol{U_B}, V_B, \ldots\ldots, W_C, U_M, V_M, W_M) \in R^{12} \\ \boldsymbol{\theta} \text{ le vecteur } (q_x, q_y, q_z) \in R^3 \end{array} \right\}$

L'équation [éq 6.1-9] peut s'écrire : $\boldsymbol{M_1}.\boldsymbol{\theta} = \boldsymbol{M_2} \boldsymbol{U_{ABCM}}$

avec $\boldsymbol{M_1} = \begin{bmatrix} b'_x & b'_y & b'_z \\ c'_x & c'_y & c'_z \\ n_x & n_y & n_z \end{bmatrix}$ M_1 est inversible car ABC est de surface non nulle

et $\boldsymbol{M_2} = \begin{bmatrix} -n_x & -n_y & -n_z & n_x & n_y & n_z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -n_x & -n_y & -n_z & 0 & 0 & 0 & n_x & n_y & n_z & 0 & 0 & 0 \\ -c_x & -c_y & -c_z & c_x & c_y & c_z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

$$\boldsymbol{\theta} = \boldsymbol{M_1^{-1}} \boldsymbol{M_2}.\boldsymbol{U_{ABCM}} \qquad \text{éq 6.1-10}$$

L'équation [éq 6.1-1] $\boldsymbol{U_M} - \boldsymbol{U_A} - \boldsymbol{\theta} \wedge \boldsymbol{M} = 0$ peut s'écrire :

$$\boldsymbol{M_4}.\boldsymbol{U_{ABCM}} + \boldsymbol{M_3}.\boldsymbol{\theta} = 0 \qquad \text{éq 6.1-11}$$

avec $\boldsymbol{M_3} = \begin{bmatrix} 0 & -M_z & M_y \\ M_z & 0 & -M_x \\ -M_y & M_x & 0 \end{bmatrix}$ où $\boldsymbol{M} = (M_x, M_y, M_z)$

et $\boldsymbol{M_4} = \begin{bmatrix} -1 & & & & & 1 & & \\ & -1 & & 0 & 0 & & 1 & \\ & & -1 & & & 0 & & 1 \end{bmatrix}$

$\boldsymbol{M_4}.\boldsymbol{U_{ABCM}} + \boldsymbol{M_3}\boldsymbol{M_1^{-1}}\boldsymbol{M_2}.\boldsymbol{U_{ABCM}} = 0 \Leftrightarrow \boldsymbol{M_5}.\boldsymbol{U_{ABCM}} = 0$

$M \neq (A, B, C)$, il faut écrire les 3 équations correspondant aux 3 lignes de la matrice $\boldsymbol{M_5} = \boldsymbol{M_4} + \boldsymbol{M_3} - \boldsymbol{M_1^{-1}}\boldsymbol{M_2}$

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6.1.3 Résumé des équation à écrire

- calcul de $\boldsymbol{b}, \boldsymbol{c}, \boldsymbol{n}, \boldsymbol{b}', \boldsymbol{c}'$
- calcul de $\boldsymbol{M}_1^{-1}\boldsymbol{M}_2$
- pour les points B et C : $\begin{cases} \boldsymbol{U}_B - \boldsymbol{U}_A.\boldsymbol{b} = 0 \\ \boldsymbol{U}_C - \boldsymbol{U}_A.\boldsymbol{c} = 0 \\ \boldsymbol{U}_B - \boldsymbol{U}_A.\boldsymbol{c} + \boldsymbol{U}_C - \boldsymbol{U}_A.\boldsymbol{b} = 0 \end{cases}$
- $M \neq (A, B, C)$:
  - calcul de $\boldsymbol{M}_5 = \boldsymbol{M}_4 + \boldsymbol{M}_3 - \boldsymbol{M}_1^{-1}\boldsymbol{M}_2$
  - écriture des 3 équations correspondant à M

6.2 Cas particuliers

- liste des nœuds à rigidifier = $\{A\} \rightarrow$ il n'y a rien à écrire $\Rightarrow \langle A \rangle$ larme,
- liste des nœuds à rigidifier = $\{A_i\}$ où tous les A_i ont les mêmes coordonnées.

  Soit A_o le premier point de la liste des nœuds à rigidifier

  $$\forall\, A_i \neq A_o \begin{cases} DX(A_i) - DX(A_0) = 0 \\ DY(A_i) - DY(A_0) = 0 \\ DZ(A_i) - DZ(A_0) = 0 \end{cases}$$

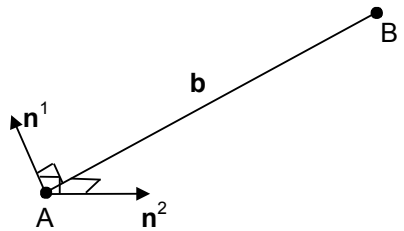
  θ est indéterminé, ce qui ne pose pas de problème.

- liste des nœuds à rigidifier = $\{A_i\}$ où tous les A_i sont alignés (droite Δ).

  Le solide $\{A_i\}$ n'a plus alors que 5 mouvements de corps rigide possibles.

  Il lui manque la rotation autour de Δ .

  Soit :
  - deux points A et $B / \|\mathbf{AB}\| \neq 0$
  - $\boldsymbol{b} = \mathbf{AB}$
  - n_1 un vecteur non nul orthogonal à $\boldsymbol{b}$ (donc à Δ)
  - $\boldsymbol{n}_2 = \boldsymbol{b} \wedge \boldsymbol{n}_1$



Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- point B : $\boldsymbol{U}_B - \boldsymbol{U}_A = \boldsymbol{\theta} \wedge \boldsymbol{b}$

$$\left(\boldsymbol{U}_B - \boldsymbol{U}_A\right).\boldsymbol{b} = 0 \qquad \text{éq 6.2-1}$$
$$\left(\boldsymbol{U}_B - \boldsymbol{U}_A\right).\boldsymbol{n_1} = \left(\boldsymbol{n_1} \wedge \boldsymbol{\theta}\right).\boldsymbol{b} \qquad \text{éq 6.2-2}$$
$$\left(\boldsymbol{U}_B - \boldsymbol{U}_A\right).\boldsymbol{n_2} = \left(\boldsymbol{n_2} \wedge \boldsymbol{\theta}\right).\boldsymbol{b} \qquad \text{éq 6.2-3}$$

  - l'équation [éq 6.2-1] est à écrire
  - les équations [éq 6.2-2] et [éq 6.2-3] servent à calculer q

  La composante de q sur $\boldsymbol{b}$ est indéterminée, on n'en tient pas compte :

$$\boldsymbol{\theta} = \theta_1 \boldsymbol{n_1} + \theta_2 \boldsymbol{n_2}$$
$$\begin{cases} \left(\boldsymbol{n_1} \wedge \boldsymbol{\theta}\right) = \theta_2 \boldsymbol{n_1} \wedge \boldsymbol{n_2} & \text{soit } k = \boldsymbol{n_1} \wedge \boldsymbol{n_2}.\boldsymbol{b} \qquad \boldsymbol{k} \neq 0 \\ \left(\boldsymbol{n_2} \wedge \boldsymbol{\theta}\right) = \theta_1 \boldsymbol{n_2} \wedge \boldsymbol{n_1} \Rightarrow \begin{cases} k\theta_1 = -\left(\boldsymbol{U}_B - \boldsymbol{U}_A\right).\boldsymbol{n_2} \\ k\theta_2 = -\left(\boldsymbol{U}_B - \boldsymbol{U}_A\right).\boldsymbol{n_1} \end{cases} \end{cases}$$

$$\boldsymbol{k\theta} = k\theta_1 \boldsymbol{n_1} + k\theta_2 \boldsymbol{n_2}$$

$$\text{Soit } \boldsymbol{n_1} = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} \;;\; \boldsymbol{n_2} = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} \;;\; \mathbf{U}_{\boldsymbol{ABM}} = \left(U_A, V_A, W_A, U_B, V_B, W_B, U_M, V_M, W_M\right) \in R^9$$

$$k\boldsymbol{\theta} = \boldsymbol{M_1} \boldsymbol{U}_{\boldsymbol{ABM}} \text{ avec : } \boldsymbol{M_1} = \left[M_2, -M_2, 0\right]$$

$$\boldsymbol{M_2} = \begin{bmatrix} 0 & \beta a - b\alpha & \gamma a - c\alpha \\ b\alpha - a\beta & 0 & \gamma b - c\beta \\ c\alpha - \gamma a & c\beta - \gamma b & 0 \end{bmatrix}$$

$$\forall\, M(A,B) \qquad \boldsymbol{U}_M - \boldsymbol{U}_A - \boldsymbol{\theta} \wedge \boldsymbol{m} = 0 \qquad \boldsymbol{m} = \mathbf{AM} = \left(M_x, M_y, M_z\right)$$
$$\Rightarrow \boldsymbol{M_4}\boldsymbol{U}_{\boldsymbol{ABM}} + \boldsymbol{M_3}\boldsymbol{\theta} = 0$$

- avec $\boldsymbol{M_3} = \begin{bmatrix} 0 & -M_z & M_y \\ M_z & 0 & -M_x \\ -M_y & M_x & 0 \end{bmatrix}$ $\boldsymbol{M_4} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & & \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & \\ 0 & 0 & -1 & & & 1 \end{bmatrix}$

$$\Rightarrow \boldsymbol{M_5}\boldsymbol{U}_{\boldsymbol{ABM}} = 0 \qquad \text{avec } M_5 = \boldsymbol{M_4} + \frac{1}{k}\boldsymbol{M_3}.\boldsymbol{M_1}$$

pour chaque point M , il faut écrire les 3 équations correspondant aux 3 lignes de la matrice $\boldsymbol{M_5}$.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- résumé des équations à écrire :
  - calcul de $\boldsymbol{b}, \boldsymbol{n}_1, \boldsymbol{n}_2, k$
  - calcul de $\boldsymbol{M}_1$
  - pour le point B : $\boldsymbol{U}_B - \boldsymbol{U}_A . \boldsymbol{b} = 0$
  - $M \neq (A, B)$
    - calcul de $\boldsymbol{M}_5 = \boldsymbol{M}_4 + \frac{1}{k} \boldsymbol{M}_3 . \boldsymbol{M}_1$
    - écriture des 3 équations correspondant à $\boldsymbol{M}_5$

7 Comment détecter les cas particuliers ?

Dans les paragraphes [§6] et [§7], nous avons vu qu'il pouvait arriver des cas particuliers lorsque certains nœuds étaient géométriquement confondus ou alignés sur une même droite.

Les critères numériques retenus pour détecter ces cas particuliers sont :

- 2 points A et B sont confondus si :
  $\|\mathbf{AB}\| \leq 10^{-6} . DMIN$
- 3 points A, B, C sont alignés si :
  $\left(\|\mathbf{AB} \wedge \mathbf{AC}\|\right)^{1/2} \leq 10^{-6} . DMIN$

où : $DMIN$ note la longueur de la plus petite arrête des mailles du maillage.

8 Description des versions du document

Version Aster	Auteur(s) Organisme(s)	Description des modifications
5	*J.PELLET (EDF/MTI/MMN)*	Texte initial

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)