

Manuel d'Utilisation
Fascicule U2.01 : Notions générales
Document : U2.01.05

Contraintes, efforts, forces et déformations

Résumé :

Ce document définit les grandeurs caractérisant les contraintes, les forces et les déformations à l'intérieur d'une structure dans un calcul par éléments finis en déplacement et comment cela se traduit dans le *Code_Aster*. L'expression de ces grandeurs est donnée pour les éléments finis de mécanique : milieu continu 2D ou 3D, coques et poutres.

1 Statique

1.1 Contraintes

Le postulat de Cauchy est que les efforts de contacts exercés en un point par une partie d'un milieu continu sur une autre ne dépend que de la normale à la surface en ce point délimitant les parties.

Conformément à ce postulat, on appelle vecteur contrainte, pour les milieux non micropolaires, $\mathbf{F}(\mathbf{n})$ le vecteur qui caractérise les forces de contact exercées à travers un élément de surface dS de normale \mathbf{n} sur une partie d'un milieu continu [bib1].

On démontre [bib3], alors, que la dépendance en un point fixé de \mathbf{F} par rapport à la normale \mathbf{n} est linéaire et qu'il existe un tenseur que l'on appelle tenseur des contraintes σ tel que :

$$\mathbf{F}(\mathbf{n}) = \sigma \mathbf{n}$$

L'unité des contraintes est le $\text{N.m}^{-2} \equiv \text{Pa}$.

Pour l'ensemble de la structure "l'état de contrainte" est caractérisé par un champ de tenseur des contraintes que l'on désigne plus simplement par champ de contrainte.

1.2 Effort

En ce qui concerne les structures de poutres ou de coques, contrairement au cas du milieu continu, il faut noter que :

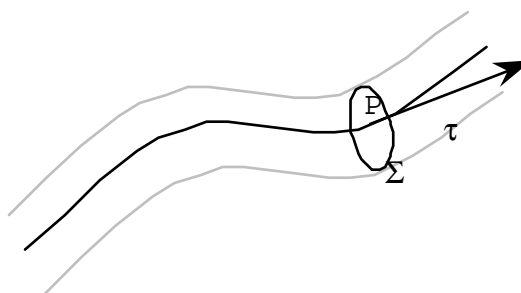
- seules les directions normales \mathbf{n} des coupures selon l'espace tangent à la variété sont possibles,
- les grandeurs caractéristiques sont obtenues par intégration dans la section ou l'épaisseur des grandeurs définies pour les milieux continus.

1.2.1 Cas des poutres

On appelle effort, les éléments de réduction $(\mathcal{F}, \mathcal{M})$ en P , centre d'inertie géométrique de la section droite Σ , du torseur résultant des forces de contact exercées sur la section [bib2].

Avec les notations précédentes :

$$\begin{aligned}\mathcal{F} &= \int_{\Sigma} \mathbf{F}(\boldsymbol{\tau}) \, ds \quad (N) \\ \mathcal{M}_P &= \int_{\Sigma} \mathbf{PM} \wedge \mathbf{F}(\boldsymbol{\tau}) \, ds \quad (N.m)\end{aligned}$$



Pour les poutres dont la section droite n'est pas considérée comme rigide ces éléments de réduction ne sont pas suffisants : par exemple, pour les poutres prenant en compte le gauchissement des sections on est amené à considérer une grandeur supplémentaire d'effort due au gauchissement (bimoment).

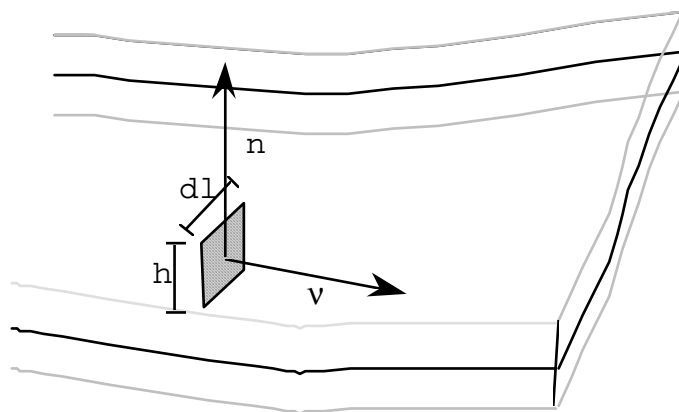
Les poutres multifibres (à comportement local 1D, reliant des contraintes à des déformations, en un certain nombre de points de la section) et les tuyaux (comportement local en contraintes planes) sont assimilables à des éléments de poutres classiques en ce qui concerne le mouvement de la fibre moyenne et les torseurs d'efforts résultants.

1.2.2 Cas des coques

Soit, un point P d'un milieu surfacique S d'épaisseur h , soit $d\ell$ un élément de longueur sur S , soit \mathbf{n} la normale orientant la coque en ce point.

Soit, les éléments de réduction en ce point $(\mathcal{F}, \mathcal{M})$ d'un torseur résultant des actions de contact exercées à travers un élément de surface $dS = h \, d\ell$ de normale \mathbf{v} tangente à S sur une partie de S . Avec les notations précédentes :

$$\begin{aligned}\mathcal{F}(P) &= \int_{-h/2}^{+h/2} \mathbf{F}(\mathbf{v}) \, dh \quad (N) \\ \mathcal{M}(P) &= \int_{-h/2}^{+h/2} \mathbf{PM} \wedge \mathbf{F}(\mathbf{v}) \, dh \quad (N.m)\end{aligned}$$



Il est clair que \mathcal{M} est dans le plan tangent à S en P .

Soit, $\mathcal{N}(P)$ la projection de $\mathcal{F}(P)$ sur le plan tangent à S en P , et soit, $\mathcal{T}(P)$ sa composante normale à ce plan tangent.

De la même façon que pour les milieux continus, on démontre qu'il existe deux tenseurs symétriques \mathbf{N} et \mathbf{M} , et un vecteur \mathbf{Q} , définis dans le plan tangent à S , tels que :

$$\mathbf{F} = \mathbf{N} \mathbf{v}$$

$$\mathcal{T} = \mathbf{Q} \cdot \mathbf{v}$$

$$\mathbf{M} = \mathbf{n} \wedge \mathcal{M} \mathbf{v}$$

(\mathbf{N} , \mathbf{M} , \mathbf{Q}) sont appelés les efforts au point P :

- le tenseur \mathbf{N} caractérise les efforts membranaires,
- le tenseur \mathbf{M} , les moments fléchissants,
- le vecteur \mathbf{Q} , les efforts tranchants.

Remarques :

- Il n'y a pas de conventions universelles sur la dénomination et les signes de ces tenseurs. Notamment, le tenseur des moments fléchissants est pris avec un signe inverse dans l'enseignement de l'ENPC et dans la pratique des ingénieurs français du génie civil. Notre convention est utilisée dans les grands codes d'éléments finis (ANSYS) et permet d'avoir le même signe pour une poutre et une plaque telle que $\boldsymbol{\tau} = \mathbf{v}$.
- Pour les structures curvilignes ou surfaciques en matériau à comportement non linéaire, il est nécessaire de relocaliser le champ de contraintes dans la section ou l'épaisseur, mais les équations d'équilibre portent toujours sur les champs d'effort. Il n'est pas nécessaire de redescendre aux contraintes pour définir l'"état de contrainte".

Liens avec le champ de contraintes

Dans ces conditions soit un repère dont la troisième composante est portée par \mathbf{n} , on a ($\alpha, \beta = 1$ ou 2) :

$$\begin{aligned} N_{\alpha\beta} &= N_{\beta\alpha} = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_{\alpha\beta} dh \\ M_{\alpha\beta} &= M_{\beta\alpha} = \int_{-h/2}^{+h/2} x \sigma_{\alpha\beta} dh \\ Q_{\alpha} &= \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_{\alpha 3} dh \end{aligned}$$

1.3 Forces nodales

On appelle force nodale équivalente ou plus simplement force nodale, un vecteur \mathbf{F} qui est le représentant d'une forme linéaire w (liée généralement à une énergie) agissant sur des champs de déplacement $u(\mathbf{x})$ discrétisés par éléments finis.

Les champs de déplacements $u(\mathbf{x})$ s'expriment à partir de ses valeurs nodales qui forment un vecteur \mathbf{q} et des fonctions de forme $\Phi_i(\mathbf{x})$ par :

$$u(\mathbf{x}) = \sum_i q_i \Phi_i(\mathbf{x})$$

Dans ces conditions :

$$w(u) = \sum_i q_i F_i$$

Remarques :

- La notion de nœud ici est très générale et veut dire, en fait, porteur de degré de liberté (qu'il soit de Lagrange ou de Hermite d'ailleurs).
- La notion de déplacement est également très générale et englobe la notion de déplacement généralisé comprenant des translations et des rotations.

1.4 Représentation des champs

Il y a plusieurs façons de représenter les champs dans une modélisation par éléments finis :

- pour les champs continus sur tout le domaine, on utilise les valeurs aux nœuds, (CHAM_NO d'Aster)

$$\sigma(\mathbf{x}) = \sum_i \sigma_i \Phi_i(\mathbf{x})$$

on parle alors de contraintes aux nœuds ou efforts aux nœuds,

Remarque :

Les champs de contraintes ou d'efforts sont généralement discontinus, si on les représente de façon continue c'est uniquement à des fins de visualisation.

- pour les champs discontinus entre les éléments e , on utilise alors les valeurs en certains points caractéristiques de l'élément (points de Gauss ou nœuds).
On parle alors de contraintes aux nœuds par éléments ou efforts aux nœuds par éléments, ou encore, de contraintes aux points de Gauss ou efforts aux nœuds.

En pratique, pour les champs discontinus on utilise :

- les représentations aux nœuds à des fins d'exploitations directes des résultats (impression ou post-traitement de visualisation),
- aux points de Gauss (ou en ce qui en tient lieu), pour poursuivre des calculs nécessitant le véritable "état de contrainte" dans l'élément : rigidité géométrique, force nodale, calculs non linéaires.

1.5 Grandeurs associées dans Aster

1.5.1 SIGM_R

La grandeur SIGM_R représente l'"état de contrainte" de la structure, donc elle doit avoir, au minimum, les composantes :

- des champs de contraintes σ des milieux continus (en repère global) :

SIXX SIYY SIZZ SIXY SIXZ SIYZ

- des champs d'efforts de poutre (en repère local à la poutre) :

N VY VZ MT MFY MFZ

- pour les poutres avec gauchissement, il faut rajouter le bimoment (nécessairement en repère local à la fibre) :

BX

- des champs d'efforts de coque (nécessairement en repère local à la surface) :

NXX NYY NXY MXX MYX MXY QX QY

De plus, il est parfois commode de pouvoir exploiter directement les champs d'efforts de poutre dans le repère global :

FX FY FZ MX MY MZ

Il est également intéressant de représenter les composantes d'un champ de contraintes sur les éléments de poutres ou de coques dans le repère local. Pour cela, on utilisera les mêmes composantes qu'en repère global, bien que la confusion soit possible. Dans l'avenir, on introduira une notion de repère de représentation attachée aux champs qui surmontera la difficulté.

1.5.2 FORC_F et FORC_R

Ces grandeurs représentent les forces appliquées à la structure sur une interface.
Pour :

- un milieu continu c'est donc un vecteur de force,
- une poutre, un torseur de forces,
- une coque, un torseur de forces.

Cette grandeur doit donc avoir les composantes suivantes :

- pour un milieu continu :

FX FY FZ

- plus pour les poutres et les coques :

MX MY MZ

1.5.3 DEPLA_R

Etant donné que dans Aster,

- un champ ne peut être attaché qu'à une seule grandeur,
- que les méthodes d'éléments finis mixtes (mélangeant inconnues de type déplacement et inconnues de type forces nodales) ne sont pas exclues,
- que la dualisation des conditions aux limites conduit à avoir pour inconnu un vecteur comportant des variables de Lagrange qui sont des forces nodales au sens où on l'a précisé plus haut,
- qu'il est nécessaire de pouvoir effectuer n'importe quel type de combinaison linéaire sur les forces nodales,
- que la numérotation des inconnus doit être la même que celle des seconds membres,

les forces nodales (duales au sens de l'énergie w des déplacements nodaux) ont nécessairement les mêmes composantes que les déplacements à savoir :

DX DY DZ DRX DRY DRZ

plus, pour les poutres avec gauchissement, le bimoment : GRX.

1.6 Options de calcul

1.6.1 Calcul de l'"état de contrainte"

1.6.1.1 Préfixe : SIEF_ELGA

Il s'agit des options qui calculent le champ représentatif de l'"état de contrainte" et permettent de poursuivre des calculs (rigidité géométrique, forces nodales, etc..) en des points de Gauss ou en ce qui en tient lieu. Le préfixe de ces options est SIEF, car suivant les éléments, elles calculent des contraintes ou des efforts.

Option de calcul	Nom symbolique de concept RESULTAT	Calcul effectué	3D, 2D, COQUE_3D Coques1D TUYAU Poutres multi-fibres	Poutres : POU_D_T POU_D_E POU_D_TG POU_D_T_GD	Plaques : DKT DST Q4G
SIEF_ELGA_DEPL	idem	à partir d'un champ de déplacement en élasticité linéaire	σ	(F, M) en repère local	(N, M, V) en repère local
SIEF_ELGA_DEPL_C	idem	à partir d'un champ de déplacement complexe en élasticité linéaire	σ (C)	(F, M) en repère local (C)	(N, M, V) en repère local (C)
RAPH_MECA FULL_MECA	SIEF_ELGA	en non linéaire	σ	(F, M) en repère local	σ

Ces options calculent donc :

- le champ de contraintes pour les éléments de milieux continus 2D et 3D, et les éléments à comportement local : COQUE_3D, coques 1D (COQUE_AXIS, COQUE_D_PLAN, COQUE_C_PLAN), tuyaux, poutres multi-fibres, en chaque « sous-point » d'intégration (couches dans l'épaisseur des coques, fibres, secteurs angulaires et position dans l'épaisseur pour les tuyaux). Le repère local des plaques et coques est spécifique à chaque élément,
- le champ d'efforts pour les poutres (torseur) et pour les plaques (tenseur) en linéaire.

1.6.2 Autres représentations de l'état de contrainte

1.6.2.1 Préfixe : SIEF_ELNO

Il s'agit des options qui calculent le champ représentatif de l'"état de contrainte" à des fins d'exploitation (impression ou post-traitement de visualisation) aux nœuds de la structure.

Option de calcul	Nom symbolique de concept RESULTAT	Calcul effectué	3D, 2D	Poutre, tuyau, poutre multi-fibre	Coque, plaque
SIEF_ELNO_ELGA	idem	par interpolation aux nœuds des quantités au points de Gauss	σ	(F, M) en repère local	(N, M, V) en repère local « utilisateur »(*)
SIEF_ELNO_ELGA_C	idem	par interpolation aux nœuds des quantités au points de Gauss	σ (C)	(F, M) en repère local (C)	(N, M, V) en repère local « utilisateur » (C)

(*) pour les éléments de plaque et de coque, le repère local est celui défini à partir des données de l'utilisateur (mot-clé ANGL_REP dans AFFE_CARA_ELEM).

1.6.2.2 Préfixe : SIGM_ELNO

Il s'agit des options qui calculent les champs de contraintes quelle que soit la modélisation à des fins d'exploitation (impression ou post-traitement de visualisation) aux nœuds de la structure.

Option de calcul	Nom symbolique de concept RESULTAT	Calcul effectué	3D, 2D	Poutres	Coques, plaques en 1 point choisi dans l'épaisseur (inf, moy, sup)
SIGM_ELNO_DEPL	idem	à partir d'un champ de déplacement en élasticité linéaire	σ	σ en repère local 6 composantes	σ en repère local 6 composantes
SIGM_ELNO_DEPL_C	idem	à partir d'un champ de déplacement complexe en élasticité linéaire	σ (C)	σ en repère local 6 composantes (C)	σ en repère local 6 composantes (C)
SIGM_ELNO_CART	idem	en composantes globales (cartésiennes) à partir du champ de contraintes en composantes locales	σ	σ en repère global	σ en repère global
SIGM_ELNO_CART_C	idem	en composantes globales complexes (cartésiennes) à partir du champ de contraintes en composantes locales complexes	σ (C)	σ en repère local 6 composantes (C)	σ en repère local 6 composantes (C)

Remarques :

- 1) Dans ce cas, la confusion est possible entre les composantes en repère local et celles en repère global qui portent le même nom. A terme, on introduira dans Aster, une notion de repère lié aux champs de grandeurs. Cette notion sera exploitée pour l'écriture des champs au format universel IDEAS, et à l'impression sur listing.
- 2) Les 6 composantes délivrées dans les repères locaux par les poutres et les coques contiennent éventuellement des termes nuls suivant les modèles utilisés. Pour les modèles les plus standards :
 - trois termes nuls pour les poutres,
 - deux termes nuls pour les coques.
Ainsi, le champ de contrainte sera complet pour IDEAS, et, surtout, il pourra être enrichi chaque fois que la modélisation le nécessitera (poutre avec cisaillement, coque avec pincement, etc...)

1.6.2.3 Préfixe : EFGE_ELNO

Il s'agit des options qui calculent les efforts sur les éléments de poutre ou de coque à des fins d'exploitation (impression ou post-traitement de visualisation) aux nœuds de la structure.

Option de calcul	Nom symbolique de concept RESULTAT	Calcul effectué	3D, 2Ds	Poutres, tuyaux, poutre multi-fibres	Coques, plaques
EFGE_ELNO_DEPL	idem	à partir d'un champ de déplacement en élasticité linéaire	non	(F, M) en repère local	(N, M, V) en repère local
EFGE_ELNO_DEPL_C	idem	à partir d'un champ de déplacement complexe en élasticité linéaire	non	(F, M) en repère local (C)	(N, M, V) en repère local (C)
EFGE_ELNO_CART	idem	en composantes globales (cartésiennes) à partir du champ d'efforts en composantes locales	non	(F, M) en repère global	non
EFGE_ELNO_CART_C	idem	en composantes globales complexes (cartésiennes) à partir du champ d'efforts en composantes locales complexes	non	(F, M) en repère global (C)	non

1.6.3 Calcul des forces nodales

1.6.3.1 Préfixe : FORC_NODA

Les forces nodales sont calculées à partir de l'"état de contrainte", une seule option est prévue :

Option de calcul	Nom symbolique de concept RESULTAT	Calcul effectué	3D	Poutre	Coque
FORC_NODA	idem	à partir d'un "SIEF_ELGA_*	F	(F, M)	(F, M)

L'option REAC_NO de l'opérateur CALC_CHAM_NO effectue un appel à FORC_NODA et soustrait :

- le chargement en statique,
- le chargement, les forces d'inerties et visqueuses en dynamique.

2 Cinématique

2.1 Déformations

2.1.1 Milieu continu

Dans ce cas, les déplacements de la structure sont représentés par un champ de vecteur \mathbf{u} à trois composantes en général.

La déformation (dans l'hypothèse des petites perturbations) est définie par le tenseur de déformation ε par (option EPSI_ELGA_DEPL et EPSI_ELNO_DEPL) :

$$\varepsilon_{ij}(u) = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i})$$

On peut vouloir calculer la déformation « mécanique », c'est à dire en retranchant les dilatations thermiques (options EPME_ELGA_DEPL et EPME_ELNO_DEPL) :

$$\varepsilon^m_{ij}(u) = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) - \varepsilon^{th}$$

Dans le cas de grands déplacements, les déformations de Green-Lagrange sont (options EPSG_ELGA_DEPL et EPSG_ELNO_DEPL) :

$$E_{ij}(u) = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i} + u_{k,i}u_{k,j})$$

Auxquelles on peut vouloir retrancher les déformations thermiques (options EPMG_ELGA_DEPL et EPMG_ELNO_DEPL) :

$$E^m_{ij}(u) = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i} + u_{k,i}u_{k,j}) - \varepsilon^{th}$$

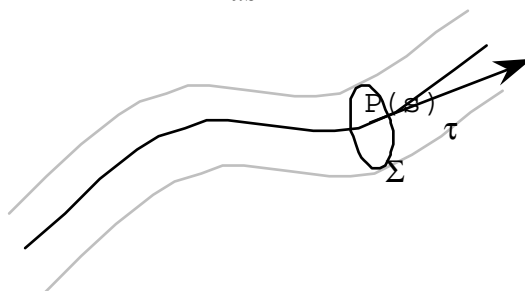
2.1.2 Cas des poutres

Dans les théories de poutres traditionnelles, chaque point P de la poutre représente une section droite. Ce sont donc, les éléments de réduction du torseur $(\mathcal{T}(s), \Omega(s))$ de déplacement de la section droite supposée rigide qui caractérisent le déplacement du point P à l'abscisse curviligne (s) . \mathcal{T} est la translation du centre d'inertie de la section, $\Omega(s)$ le vecteur rotation de la section en ce point.

L'application du théorème des travaux virtuels (cf.[bib2]) conduit naturellement à définir comme déformation le torseur (ε, χ) dérivée de $(\mathcal{T}(s), \Omega(s))$ par rapport à l'abscisse curviligne s :

$$\varepsilon = \frac{d\mathcal{T}}{ds} + \tau \wedge \Omega$$

$$\chi = \frac{d\Omega}{ds}$$



Posons alors :

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \varepsilon_L \boldsymbol{\tau} + \boldsymbol{\gamma}_T$$

$$\boldsymbol{\chi} = \gamma_t \boldsymbol{\tau} + \mathbf{K}$$

ε_L est la déformation longitudinale,

$\boldsymbol{\gamma}_T$ est le vecteur des déformations de distorsion (nul dans l'hypothèse de Navier-Bernoulli),

γ_t est la déformation de torsion de la section,

\mathbf{K} est la déformation de flexion.

Remarque :

Pour les modélisations de poutre avec prise en compte du gauchissement, la cinématique est plus compliquée à décrire, mais elles conduisent cependant à des notions proches de celles présentées ci-dessus.

2.1.3 Cas des coques

Nous nous limiterons ici aux cas des plaques. En effet, dans le cas général des coques :

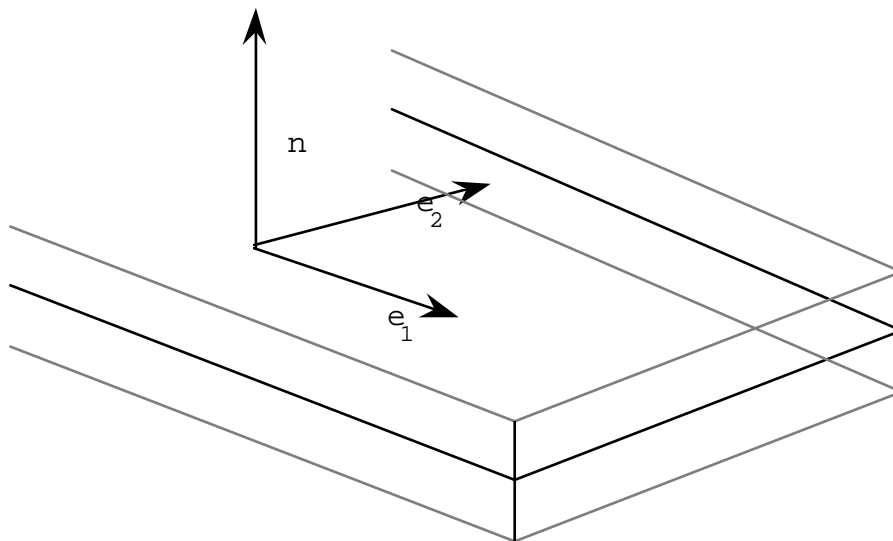
- les dérivations spatiales utilisent des notions mathématiques trop compliquées pour le cadre de ce document, [R3.07.04],
- les coques sont très souvent modélisées par des éléments de plaques assemblées.

Dans ce cas, ce sont seulement les normales matérielles qui sont supposées rigides. Le déplacement de ces normales est donc représenté par les éléments de réduction d'un torseur $(\mathcal{T}, \boldsymbol{\Omega})$. \mathcal{T} est la translation du point situé sur le feuillet moyen, $\boldsymbol{\Omega}$ le vecteur rotation de la normale en ce point.

Il est clair que la composante normale de $\boldsymbol{\Omega}$ est nulle (dans le cas de milieux non micro-polaires). On introduit, le vecteur \mathbf{l} dans le plan tangent défini par :

$$\mathbf{l} = \boldsymbol{\Omega} \wedge \mathbf{n}$$

où \mathbf{n} est le vecteur normal orientant la surface.



Soit, la décomposition :

$$\mathcal{T} = w\mathbf{n} + \mathbf{u}_T$$

\mathbf{u}_T est le déplacement tangent,

w est la flèche.

De la même façon que pour les poutres, l'application du théorème des travaux virtuels (cf.[bib2]) conduit à définir comme déformation l'ensemble formé par les tenseurs \mathbb{E} et \mathbb{K} et le vecteur γ toutes ces grandeurs étant définies dans le plan tangent par :

$$\begin{aligned} E_{\alpha\beta} &= \frac{1}{2}(u_{\alpha,\beta} + u_{\beta,\alpha}) \\ K_{\alpha\beta} &= \frac{1}{2}(l_{\alpha,\beta} + l_{\beta,\alpha}) \\ \gamma_\alpha &= l_\alpha + w_{,\alpha} \end{aligned}$$

La déformation est donc définie par 7 réels.

$E_{\alpha\beta}$ sont les déformations membranaires,

$K_{\alpha\beta}$ sont les inverses des courbures du feuillet moyen déformé,

γ_α est le vecteur de déformation de distorsion.

Remarque :

Là encore, il n'y a pas de convention universelle et la disparité des conventions est encore plus grande que pour les tenseurs d'efforts. L'ENPC adopte une convention inverse pour le tenseur \mathbb{K} pour des raisons géométriques évidentes.

Lien avec le champ de déformation tridimensionnel

Dans ces conditions, on a :

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\alpha\beta} &= E_{\alpha\beta} + x_3 K_{\alpha\beta} \\ \varepsilon_{\alpha 3} &= \gamma_\alpha \\ \varepsilon_{33} &= 0. \end{aligned}$$

2.2 Grandeurs associées dans Aster

2.2.1 DEPL_R et DEPL_C

Les grandeurs `DEPL_R` et `DEPL_C` ont pour composantes les degrés de libertés de la modélisation par éléments finis et n'ont donc pas nécessairement que les composantes des champs de déplacement qui sont :

DX DY DZ

à qui il faut adjoindre pour les poutres ou les coques :

DRX DRY DRZ

Pour les coques, nous avons besoin des trois composantes du vecteur de rotation, car l'équation aux éléments finis ne peut s'exprimer que dans un repère cartésien global.

2.2.2 EPSI_R

La grandeur `EPSI_R` représente les déformations de la structure, donc elle doit avoir, au minimum, les composantes :

- des champs de déformations ε des milieux continus (en repère global) :

EPXX EPYY EPZZ EPXY EPXZ EPYZ

- des champs de déformations de poutre (en repère local à la poutre) :

EPL GAY GAZ KY KZ GAT

- des champs de déformations de coque (nécessairement en repère local à la surface)

EXX EYY EXY KXX KYY KXY GAX GAY

2.3 Options de calcul

2.3.1 Préfixes : EPSI_ELGA_DEPL, EPME_ELGA_DEPL, EPSG_ELGA_DEPL, EPMG_ELGA_DEPL

Il s'agit des options qui calculent les champs de déformations aux points d'intégration des éléments.

Option de calcul	Nom symbolique de concept RESULTAT	Calcul effectué	3D	Tuyaux, Poutres multi_fibres	Coques, plaques
EPSI_ELGA_DEPL	idem	à partir d'un champ de déplacement en petites déformations	ε	ε en repère local 6 composantes	non
EPSG_ELGA_DEPL	idem	Tenseur de Green-Lagrange à partir d'un champ de déplacement	E	non	non
EPME_ELGA_DEPL	idem	à partir d'un champ de déplacement et d'un champ de température en petites déformations	ε^m	non	non

EPMG_ELGA_DEPL	idem	Tenseur de Green-Lagrange à partir d'un champ de déplacement et d'un champ de température	E^m	non	non
----------------	------	---	-------	-----	-----

2.3.2 Préfixe : EPSI_ELNO_DEPL, EPME_ELNO_DEPL, EPSG_ELNO_DEPL, EPMG_ELNO_DEPL

Il s'agit des options qui calculent les champs de déformations quelle que soit la modélisation à des fins d'exploitation (impression ou post-traitement de visualisation) aux nœuds de la structure.

Option de calcul	Nom symbolique de concept RESULTAT	Calcul effectué	3D	Poutres, Tuyaux, Poutres multi_fibres	Coques, plaques en 1 point choisi dans l'épaisseur (inf, moy, sup)
EPSI_ELNO_DEPL	idem	à partir d'un champ de déplacement en petites déformations	ε	ε en repère local 6 composantes	ε en repère local : 6 composantes
EPSG_ELNO_DEPL	idem	Tenseur de Green-Lagrange à partir d'un champ de déplacement	E	non	non
EPME_ELNO_DEPL	idem	à partir d'un champ de déplacement et d'un champ de température en petites déformations	ε^m	non	non
EPMG_ELNO_DEPL	idem	Tenseur de Green-Lagrange à partir d'un champ de déplacement et d'un champ de température	E^m	non	non

2.3.3 Préfixe : DEGE_ELNO

Il s'agit des options qui calculent les déformations généralisées sur les éléments de poutre ou de coque à des fins d'exploitation (impression ou post-traitement de visualisation) aux nœuds de la structure.

Option de calcul	Nom symbolique de concept RESULTAT	Calcul effectué	3D	Poutres, poutres multi-fibres	Plaques, Coques1D
DEGE_ELNO_DEPL	idem	à partir d'un champ de déplacement en petites déformations	non	(ε, χ) en repère local	(E, K, γ) en repère local

3 Bibliographie

- [1] F. Sidoroff - Cours de mécanique des solides Tome 1 E.C.L.
- [2] F. Sidoroff - Cours de mécanique des solides Tome 2 E.C.L.
- [3] C. Truesdell - W. Noll - Encyclopedia of Physics volume III/3 - The non-linear Field Theories of Mechanics Springer-Verlag, 1965.

Page laissée intentionnellement blanche.