

**Manuel d'Utilisation**  
**Fascicule U2.04 : Mécanique non linéaire**  
**Document : U2.04.04**

## Modélisation du contact

---

### Résumé :

On décrit dans ce document les méthodes disponibles dans *Code\_Aster* pour traiter les problèmes de contact avec ou sans frottement, en petits ou en grands déplacements.

On traitera en détails les charges de contact, utilisées par les opérateurs `STAT_NON_LINE` et `DYNA_NON_LINE`. Et on abordera la modélisation du contact ponctuel sur `DYNA_TRAN_MODAL` ou avec les éléments `DIS_CONTACT`.

## Table des matières

1 Introduction .....	4
2 Définitions .....	5
3 Opérateurs du contact .....	10
3.1 AFPE_CHAR_MECA.....	10
3.2 STAT_NON_LINE et DYNA_NON_LINE .....	11
4 Modélisation.....	12
4.1 Le Maillage.....	12
4.1.1 Finesse du maillage.....	12
4.1.2 Choix des éléments finis.....	12
4.1.3 Cas des poutres .....	13
4.1.4 Epaisseur matériau.....	13
4.1.5 VECT_Y.....	14
4.2 Les normales .....	15
4.3 L'appariement .....	15
4.3.1 Méthode 'nodal' .....	15
4.3.2 Méthode 'maitre-esclave' .....	16
4.3.3 Les difficultés.....	16
4.3.4 Des solutions possibles .....	17
4.3.5 Un cas particulier.....	17
4.4 Conditions aux limites .....	17
4.5 Surfaces rigides .....	18
4.5.1 Extraits d'un fichier de commande comportant une surface rigide .....	18
4.6 Le frottement.....	19
5 Calculs .....	19
5.1 Prise en compte du contact – frottement.....	19
5.1.1 'CONTRAINTES' .....	19
5.1.2 'LAGRANGE' .....	20
5.1.3 'PENALISATION' .....	20
5.1.3.1 Choix des coefficients de pénalisation .....	20
5.1.3.2 Avantages et inconvénients .....	20
5.1.4 Remarques .....	20
5.2 Frottement.....	20
5.3 Interpénétration.....	21
5.3.1 Calcul pénalisé .....	21
5.3.2 Dissymétrie maître / esclave .....	21
5.3.3 Visualisation .....	21
5.4 Le calcul.....	21
5.5 Grands déplacements.....	22

5.5.1 Recherche .....	22
5.5.2 Réactualisation de la géométrie .....	22
5.6 Le cas dynamique .....	22
6 Autres méthodes .....	23
6.1 DYNA_TRAN_MODAL .....	23
6.1.1 Présentation .....	23
6.1.2 Traitement du contact .....	23
6.1.3 Modélisation .....	23
6.1.3.1 Epaisseur matériau .....	23
6.1.3.2 Obstacles non maillés .....	23
6.1.4 Conseils d'utilisation .....	24
6.1.5 Post-traitement .....	24
6.1.6 Bilan .....	24
6.1.7 Un exemple .....	24
6.2 DIS_CONTACT .....	25
6.2.1 Exemple de fichier de commande .....	25
7 Bibliographie .....	27

## 1 Introduction

On parle d'étude de contact dès qu'il peut y avoir interaction de contact au cours du calcul. Il est possible de modéliser les problèmes de contact-impact et de contact-frottement avec *Code\_Aster*, en petits ou en grands déplacements. Ce document passe en revue les différentes méthodes disponibles, souligne les difficultés rencontrées et donne des conseils d'utilisation. On privilégiera le traitement du contact par les charges de contact. Il existe d'autres méthodes, elles ne concernent que le contact ponctuel et elles sont présentées dans le chapitre 6.

### Démarche générale

Le contact est déclaré dans `AFFE_CHAR_MECA`, comme une charge. Toutes les conditions de contact doivent être déclarées dans le même `AFFE_CHAR_MECA` (chacune dans une occurrence du mot clef `CONTACT`).

Dans un premier temps, on indique les surfaces entre lesquelles on veut traiter le contact. On choisit ensuite de traiter le contact avec ou sans frottement. Dans le cas du contact avec frottement, il faut donner le coefficient de frottement. On indique également les méthodes de calcul à utiliser et la méthode d'appariement. C'est à travers ces étapes que l'on définit tous les paramètres du contact. Elles ont lieu dans l'opérateur `AFFE_CHAR_MECA`. Les conditions de contact sont donc déclarées comme une charge. Elles sont utilisées comme telles (mot clé `EXCIT`) dans les opérateurs mécanique `STAT_NON_LINE` ou `DYNA_NON_LINE`. Une fois le calcul achevé, on peut faire un post-traitement des efforts de contact.

### Les lectures utiles

La documentation ici présente a pour vocation de guider l'utilisateur lors d'une modélisation en contact frottement. Elle reprend les indications essentielles et donne des conseils d'utilisation. Elle ne remplace pas la lecture des documentations U4 de chaque opérateur. L'utilisateur trouvera dans ces documentations la syntaxe de l'opérateur, ainsi que la signification de chaque paramètre. Par ailleurs, l'utilisateur qui souhaite avoir une approche plus détaillée et des commentaires sur les algorithmes ou les équations du contact, se référera aux documentations de référence R5 : [R5.03.50] et [R5.03.51]. Des exemples sont fournis ici pour illustrer certains points. On pourra par ailleurs se référer aux cas test (documentation V6) et s'en inspirer.

### Plan

Dans une deuxième partie, nous donnerons quelques définitions élémentaires spécifiques à la modélisation du contact. En partie 3, on trouve une brève description des opérateurs *Code\_Aster* concernés. Dans les parties 4 et 5, on abordera les difficultés de la modélisation et du calcul. On trouvera dans ces parties les conseils pour utiliser le contact dans *Code\_Aster*. La partie 6 est consacrée aux autres modélisations du contact dans *Code\_Aster*. Elle est réservée au contact ponctuel.

## 2 Définitions

### Contact

La prise en compte du contact par *Code\_Aster* ne va pas de soi. Sans déclaration spécifique, deux éléments peuvent occuper la même place de l'espace.

Si on prévoit que deux surfaces peuvent entrer en contact au cours du calcul, il faut faire une déclaration de contact. Les surfaces en questions sont appelées surfaces de contact.

La surface de contact est 2D pour une structure 3D, 1D pour une structure 2D.

### Maître / Esclave

Quand on déclare que deux surfaces S1 et S2 risquent d'entrer en contact, *Code\_Aster* écrit les relations appropriées. Ces relations ne sont pas symétriques. C'est pourquoi on est amené à distinguer les deux surfaces, à la première on donne le nom de maître, à la seconde le nom d'esclave. Le traitement du contact consiste à empêcher les nœuds esclaves de pénétrer la surface maître.

#### Remarque :

Pour les méthodes *LAGRANGE* et *CONTRAINTES*, *Code\_Aster* traite le contact en appliquant des multiplicateurs de Lagrange portés par les nœuds esclaves.

On comprend dans ce cas que le choix de la surface maître et de la surface esclave peut avoir une influence sur le résultat du calcul. On trouvera par la suite des conseils pour faire ce choix.

### Appariement

L'appariement est la phase du calcul où *Code\_Aster* calcule entre quel point esclave et quel point maître (ou quelle maille maître) vont s'écrire les relations de contact.

On appelle appariement 'NODAL' l'appariement entre un nœud esclave et un nœud maître.

On appelle appariement 'MAITRE-ESCLAVE' l'appariement entre un nœud esclave et sa projection sur la surface maître.

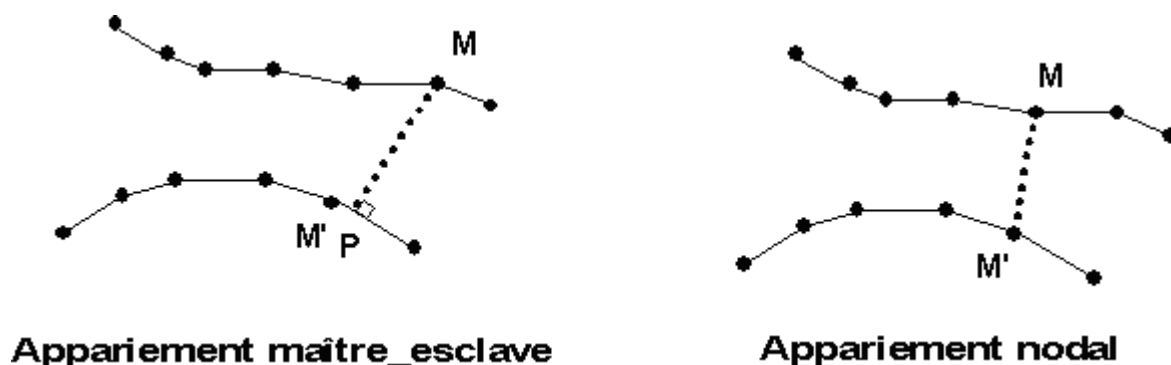


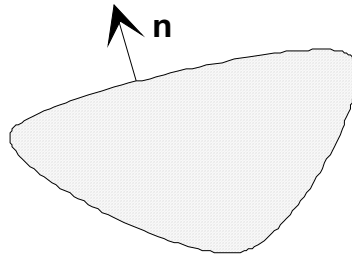
Figure 2-a : Appariement 'MAITRE-ESCLAVE' et appariement 'NODAL'

### Normale

Les normales aux surfaces ont un rôle très important au moment de l'appariement et de l'écriture de la relation du contact.

Leur direction permet la projection des points esclaves sur les surfaces maître, mais elles sont aussi utilisées pour l'écriture des équations de contact. Leur sens permet de distinguer l'intérieur de l'extérieur de la structure. Les normales doivent toujours être sortantes.

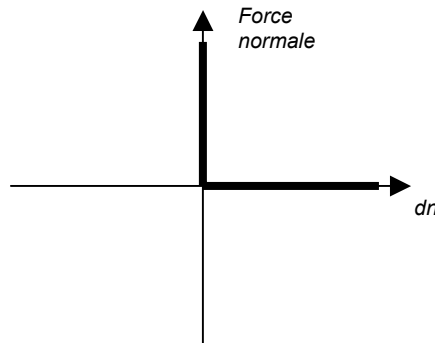
C'est pourquoi il est indispensable de toujours définir et orienter correctement les normales des surfaces en contact.



**Figure 2-b : La normale doit être sortante**

### Conditions de Signorini

Les conditions de Signorini sont les conditions de non interpénétration.



**Figure 1-c : Condition de Signorini**

Elles disent que la force normale de contact est nulle lorsqu'il n'y a pas contact ( $dn > 0$ ), et que l'interpénétration (c'est-à-dire  $dn \leq 0$ ) est impossible. Dans le cas où il y a contact, la réaction normale peut prendre n'importe quelle valeur positive (effort de répulsion) qui répond au problème mécanique et qui empêche l'interpénétration.

### Force de contact

Au cours du contact, les deux surfaces en contact génèrent des forces l'une sur l'autre. Ces forces permettent aux deux surfaces de ne pas s'interpénétrer. Elles respectent le principe d'action et réaction. On a accès à ces forces lors du post-traitement.

Ces forces sont toujours des forces de répulsion (pour éloigner les surfaces en contact).

Elles n'agissent pas à distance, c'est-à-dire qu'elles sont nulles quand les deux surfaces ne se touchent pas.

### Coefficient de frottement $\mu$

Le frottement est pris en compte par la loi de Coulomb.

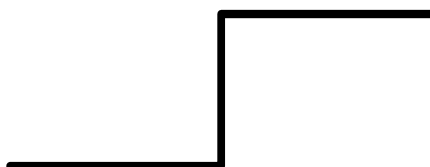


Figure 2-d : Loi de Coulomb

Cette loi fait intervenir un coefficient  $\mu$ , appelé coefficient de Coulomb. Pendant la phase d'adhérence, le point ne bouge pas (vitesse nulle). Pendant la phase de glissement, le point a une vitesse non nulle, il est soumis à une réaction tangente égale à  $\mu$  fois la réaction normale.

Le coefficient de Coulomb dépend des surfaces en contact.

Si le coefficient de frottement est nul (c'est-à-dire, s'il n'y a pas de frottement), il n'y a pas de réaction tangentielle.

### Pénalisation

On peut traiter le contact de façon pénalisée.

Pour la direction normale, cela revient à dire qu'une fois en contact, les structures sont repoussées par une raideur. Cette raideur exerce un effort répulsif entre les structures. Pendant cette phase, il y a interpénétration des structures.

On fixe cette raideur avec le coefficient de pénalisation normal  $E_N$ .

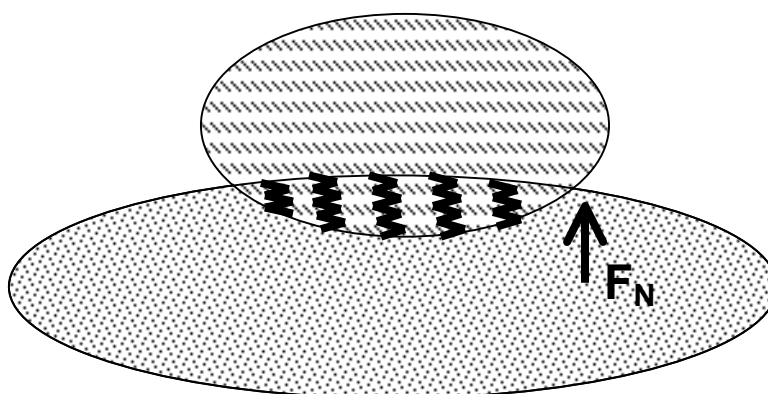


Figure 2-e : Coefficient de pénalisation normale

Cette pénalisation correspond à une régularisation de la courbe de Signorini :

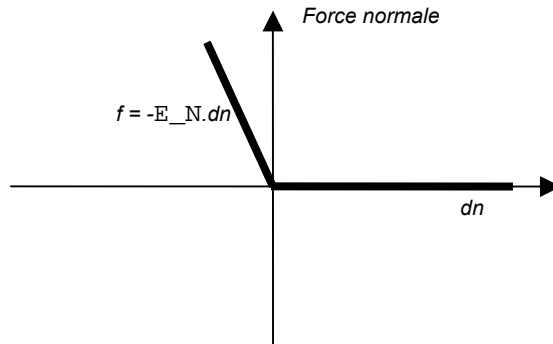


Figure 2-f : Condition de Signorini pénalisée

Pour le frottement, la pénalisation apparaît sur la courbe de Coulomb. Dans ce cas, il n'y a pas de phase d'adhérence, la pente infinie est remplacée par une pente finie de valeur le coefficient de pénalisation tangent  $E_T$ .

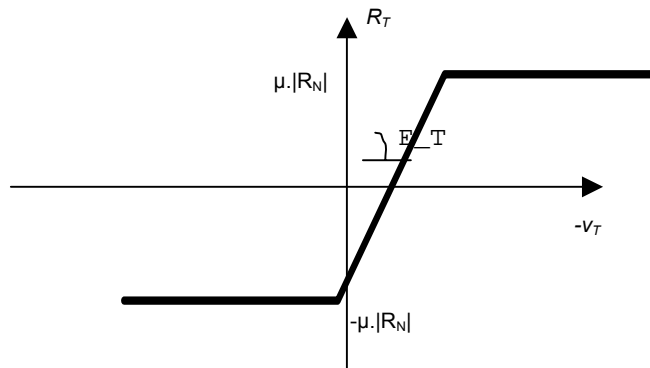


Figure 2-g : Loi de Coulomb pénalisée

Il ne faut pas confondre le coefficient de pénalisation tangent  $E_T$  avec le coefficient de frottement  $\mu$ . Sur la courbe précédente, le premier fixe la pente à l'origine, le deuxième fixe la valeur du palier.

## Charges de contact

Dans *Code\_Aster*, on parle de charges de contact. Toutes les déclarations du contact se font comme une déclaration de charge. On définit les paramètres dans `AFFE_CHAR_MECA` et on les utilise dans le mot clef `EXCIT` de l'opérateur de calcul.

## Interpénétration

On parle d'interpénétration lorsqu'une structure pénètre à l'intérieur de l'autre et réciproquement. L'interpénétration n'est pas un phénomène physique. Un objet physique peut venir s'écraser sur un autre mais ne pénètre pas dans la matière de l'autre.



## Solution exacte

On utilisera l'expression "solution exacte" pour désigner une solution qui suit exactement les lois du contact (conditions de Signorini et loi de Coulomb).

En particulier, une solution exacte ne permet pas l'interpénétration.

La solution exacte est obtenue sans le recours à des coefficients de pénalisation choisis par l'utilisateur, et dont dépend fortement la solution.

Evidemment, une solution « exacte » n'est pas forcément physiquement acceptable, et elle dépend toujours des autres paramètres du calcul et de la modélisation.

## Contact ponctuel

On parle de contact ponctuel lorsque les deux "surfaces" potentiellement en contact sont réduites à des points. Par exemple, sur des modèles filaires, on peut être amené à utiliser le contact ponctuel.

On peut utiliser le contact ponctuel en 2D ou en 3D.

Il ne faut pas le confondre avec l'appariement nodal où les relations s'écrivent entre deux nœuds mais où le contact peut se faire entre deux surfaces (ou segments), et les appariements peuvent évoluer au cours du calcul.

On peut traiter le contact ponctuel avec les méthodes présentées ici. D'autres méthodes sont aussi disponibles. Elles sont présentées au chapitre 6.

### 3 Opérateurs du contact

Lors de la modélisation du contact, on sera amené à utiliser deux opérateurs *Code\_Aster* :

**AFFE\_CHAR\_MECA** qui permet de régler tous les paramètres du contact et de déclarer les surfaces de contact.

**STAT\_NON\_LINE** ou **DYNA\_NON\_LINE** qui effectuent le calcul statique ou dynamique avec contact.

Pour chacun des opérateurs, on se reportera aux documentations U4. Elles contiennent la syntaxe des opérateurs, ainsi que la signification de chacun des mots-clefs.

#### 3.1 AFFE\_CHAR\_MECA

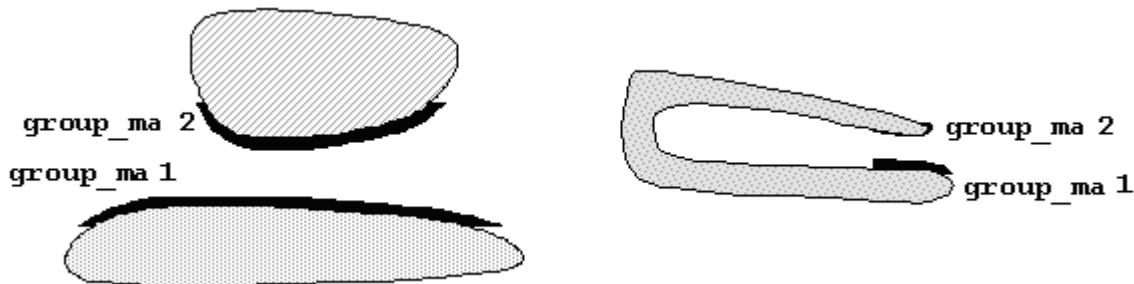
[U4.44.01]

**AFFE\_CHAR\_MECA**, mot clef **CONTACT**

C'est dans **AFFE\_CHAR\_MECA** que l'on définit les paramètres des charges de contact, sous le mot clef **CONTACT**.

C'est ici que l'on choisit les surfaces de contact.

- Le contact se fera entre le **GROUP\_MA\_1** (ou **MAILLE\_1**) et le **GROUP\_MA\_2** (ou **MAILLE\_2**). la déclaration de ces deux éléments est indispensable.



**Figure 3.1-a : Déclaration des surfaces de contact**

Seuls les couples de surfaces déclarés ici seront pris en compte. Si jamais le contact devait se faire ailleurs, *Code\_Aster* n'en tiendra pas compte.

- Toutes les charges de contact doivent être déclarées dans le même **AFFE\_CHAR\_MECA**, et dans le même mot clé **contact**. On ajoutera autant d'occurrences de ce mot clé qu'il y a de zones à déclarer.

#### Exemple :

```
CHA = AFFE_CHAR_MECA ( MODELE=MO,
                        DDL_IMPO=_F( GROUP_MA='SOCLE',
                                      DX=0.0, DY=0.0, ),
                        CONTACT=( _F( GROUP_MA_1 = 'COTE_AB',
                                      GROUP_MA_2 = 'COTE_EF',
                                      METHODE = 'LAGRANGIEN',
                                      APPARIEMENT = 'MAIT_ESCL', ),
                                _F( GROUP_MA_1 = 'COTE_MP',
                                      GROUP_MA_2 = 'COTE_RS',
                                      METHODE = 'LAGRANGIEN',
                                      APPARIEMENT = 'MAIT_ESCL',
                                      FROTTEMENT = 'COULOMB',
                                      COULOMB = 2.0, ), ), );
```

### 3.2   STAT\_NON\_LINE et DYNA\_NON\_LINE

[U4.51.03] et [U4.53.01]

STAT\_NON\_LINE et DYNA\_NON\_LINE, mot clef EXCIT

La déclaration de la charge est très simple, puisqu'il suffit de donner le nom de la charge construite par AFFE\_CHAR\_MECA.

Il faut bien entendu, régler les paramètres de pas de temps ... propres à toute étude mécanique, sans oublier que le problème de contact est non linéaire.

**Remarque importante :**

| *On ne peut pas utiliser le pilotage dans un problème de contact, ni la recherche linéaire.*

**Exemple :**

```
RESU = STAT_NON_LINE (   MODELE=MO,
                          CHAM_MATER=CHMAT,
                          EXCIT= ( _F( CHARGE=CHAL,
                                      FONC_MULT=F, ),
                                  _F( CHARGE=CONTACT, ), ),
                          COMP_INCR= _F( RELATION= ' ELAS ',
                                      TOUT= ' OUI ', ),
                          INCREMENT= _F( LIST_INST=L_INST,
                                          INST_FIN=1.5,
                                          SUBD_PAS=2,
                                          SUBD_PAS_MINI=1.E-3, ),
                          NEWTON= _F( MATRICE= ' TANGENTE ',
                                      REAC_ITER=1, ),
                          CONVERGENCE= _F( RESI_GLOB_MAXI=1.E-8,
                                          ITER_GLOB_MAXI=20,
                                          ARRET= ' OUI ', ),
                          ARCHIVAGE= _F( LIST_INST=L_INST, ), );
```

## 4 Modélisation

La prise en compte du contact intervient dès la création du maillage.  
On abordera dans cette partie les questions utiles à se poser lors des étapes de modélisation.  
Cette réflexion concerne le maillage, mais aussi les conditions aux limites, la définition des surfaces de contact et la prise en compte du frottement.

### 4.1 Le Maillage

#### 4.1.1 Finesse du maillage

Dans la plupart des cas, il est préférable de raffiner le maillage dans les zones de contact.  
En particulier dans les courbes, un maillage fin permet une meilleure définition de la normale.  
Si la structure présente des angles, un maillage raffiné permettra de les arrondir légèrement.

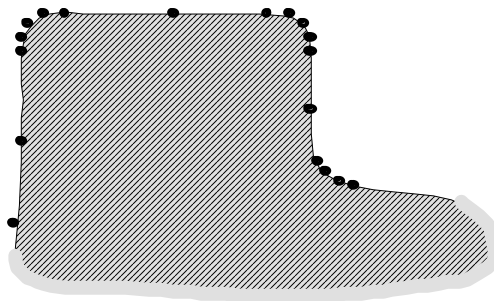


Figure 4.1.1-a : Maillage d'une structure anguleuse

Par contre, sur des plans rigides, le traitement du contact se contente d'un maillage grossier.

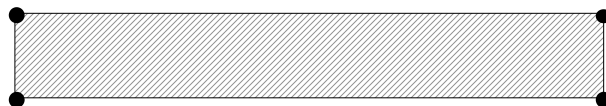


Figure 4.1.1-b : Maillage d'un plan rigide

#### 4.1.2 Choix des éléments finis

Tous les éléments finis sont compatibles avec les calculs de contact.  
Les mailles des surfaces de contact sont surfaciques en dimension 3, linéiques en dimension 2. Elles doivent être définies dans le maillage, elles ne sont pas automatiquement extraites des mailles volumiques par *Code\_Aster*.

Cas des mailles quadratiques *HEXA20* en 3D, et *QUAD9* en coques :

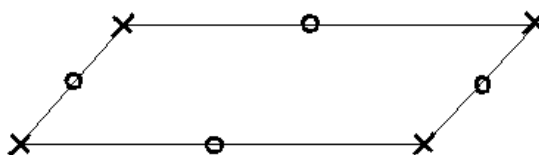


Figure 4.1.2-a : Maille quadratique avec ses nœuds sommet (x) et ses nœuds milieu (o)

Dans le cas des éléments quadratiques, *Code\_Aster* impose des relations cinématiques entre les nœuds milieux et les nœuds sommets. Des multiplicateurs de Lagrange sont appliqués sur les nœuds milieux.

La première conséquence est que la structure est plus rigide.

De plus, si des conditions aux limites (ou de symétrie) sont imposées sur ces éléments, il faut les imposer aux nœuds sommets, mais pas aux nœuds milieux pour ne pas créer de redondances (deux multiplicateurs de Lagrange sur le même nœud).

Par ailleurs, les multiplicateurs de Lagrange impliquent l'utilisation de matrices plus grandes, et peuvent donc nuire aux performances, et poser des problèmes de mémoire dans le cas de très gros modèles.

### 4.1.3 Cas des poutres

Il existe un problème spécifique à la poutre, elle n'a pas de vecteur normal unique. L'utilisateur doit fixer la direction de la normale avec le mot clef `VECT_Y`.

Les conditions de contact ne seront correctement prises en compte que si le contact se fait selon cette normale.

Si ces restrictions sont incompatibles avec les restrictions du problème, on peut toujours mailler la poutre en 3D.

### 4.1.4 Epaisseur matériau

Les mots clés `DIST_1` et `DIST_2` permettent de simuler des défauts de surface qui ne sont pas représentés dans le maillage. On ajoute sur `GROUP_MA_1` (ou `MAILLE_1`) pour `DIST_1` et sur `GROUP_MA_2` (ou `MAILLE_2`) pour `DIST_2` une épaisseur dans le sens de la normale.

Ainsi,  $DIST_1 > 0$  correspond à une épaisseur plus grande,  $DIST_1 < 0$  à une épaisseur plus petite.

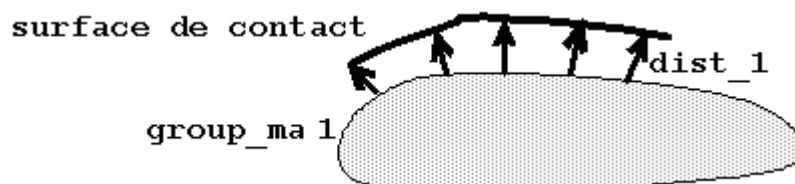


Figure 4.1.4-a : Utilisation de `dist_1`

#### Remarque :

Cette option remplace le maillage de défauts de surface, mais ne simule pas l'ajout de matière (inertie, bras de levier...).

On peut s'en servir pour le contact entre coques dont seule la surface moyenne a été maillée. On peut aussi s'en servir pour représenter une surface accidentée.

Lors de la visualisation, on ne voit pas `DIST_1` et `DIST_2`. On peut alors voir de l'interpénétration alors qu'il n'y en a pas ( $DIST_1 + DIST_2 < 0$ ) ou ne pas voir du contact alors qu'il y en a ( $DIST_1 + DIST_2 > 0$ ).

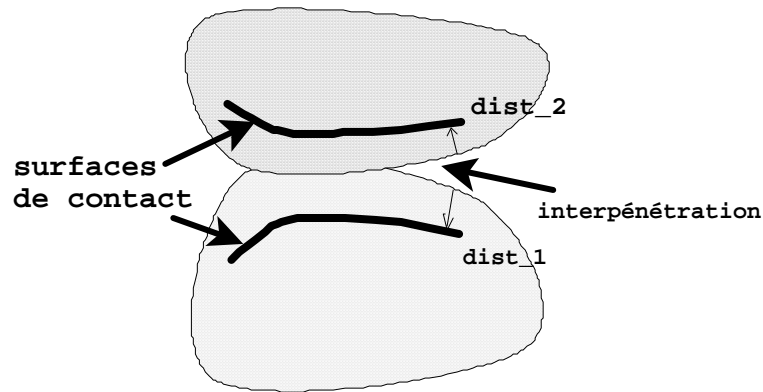


Figure 4.1.4-b : Visualisation d'une interpénétration

#### 4.1.5 VECT\_Y

`VECT_Y`, mot clef de `AFFE_CHAR_MECA/CONTACT` permet de définir un repère local sur une surface de contact. Dans ce cas, le repère local est construit de la manière suivante : le premier vecteur `V1` est obtenu par projection orthogonale de `VECT_Y` sur la surface de l'élément considéré, le second `V2` est obtenu par produit vectoriel de `V1` avec le vecteur normal `N`.

On l'utilise aussi pour donner une normale aux poutres.

Dans ce cas, `VECT_Y` est le vecteur, qui, par produit vectoriel avec le vecteur tangent à la poutre, donne la normale à utiliser.

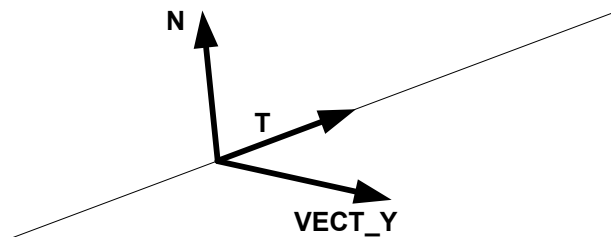


Figure 4.1.5-a : Utilisation de `VECT_Y` pour définir la normale à une poutre

Pour d'autres usages de `VECT_Y`, on peut se reporter à la documentation U4 de `AFFE_CHAR_MECA`.

## 4.2 Les normales

Il est impératif que les mailles de contact soient définies de façon à ce que les normales soient sortantes.

Pour avoir des normales sortantes, on utilise l'opérateur `MODI_MAILLAGE`, avec les mots\_clef `ORIE_PEAU_2D`, `ORIE_PEAU_3D` ou `ORIE_NORM_COQUE`, selon la modélisation [U4.23.04].

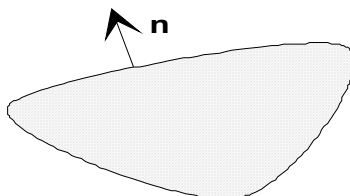


Figure 4.2-a : La normale doit être sortante

### Exemple :

```
MA = MODI_MAILLAGE ( reuse=MA,  
                     MAILLAGE=MA,  
                     ORIE_PEAU_3D=( _F( GROUP_MA='SURF_1', ),  
                                     _F( GROUP_MA='SURF_2', ), ),  
                     MODELE=MO, );
```

## 4.3 L'appariement

Deux méthodes d'appariement sont disponibles : 'NODAL' ou 'MAITRE-ESCLAVE'.

### 4.3.1 Méthode 'nodal'

L'appariement se fait entre un nœud de la surface esclave et un nœud de la surface maître.

A chaque nœud esclave, on apparie le nœud maître le plus proche.

La relation de non interpénétration utilise par défaut la normale à la maille esclave. La direction d'approche est soit la normale à la maille maître, soit une direction arbitraire fixe (`VECT_NORM_2`).

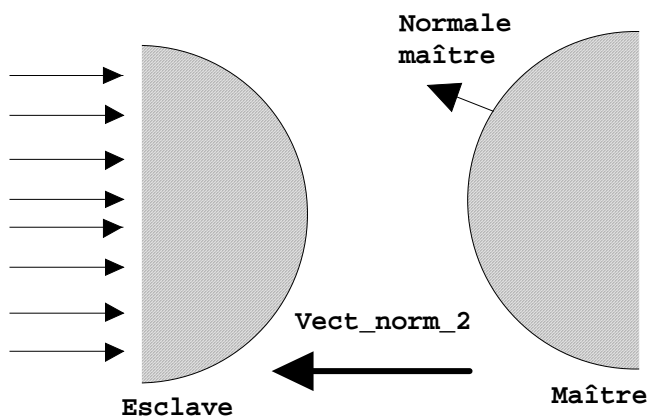


Figure 4.3.1-a : Exemple d'utilisation de `VECT_NORM_2`

La surface maître est celle qui comporte le plus de nœuds (ou si égalité MAILLE\_2 ou GROUP\_MA\_2). En effet, il est préférable que chaque nœud maître ne soit apparié qu'à un seul nœud esclave.

**Conseils d'utilisation :**

Il est conseillé d'avoir les maillages compatibles et qui restent compatibles au cours du calcul.

La méthode 'NODAL' ne permet pas de prendre correctement en compte les grands déplacements.

On conseille d'utiliser la méthode 'MAITRE-ESCLAVE'.

### 4.3.2 Méthode 'maitre-esclave'

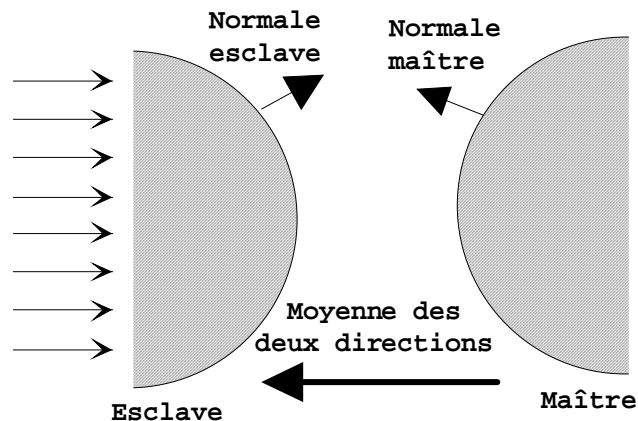
C'est la méthode d'appariement conseillée.

C'est un appariement nœud-facette. Il se fait entre un nœud esclave et une facette maître.

La condition de contact est que les nœuds esclaves ne doivent pas entrer dans les mailles maîtres.

On remarque que l'inverse est possible.

La relation de non interpénétration utilise par défaut la normale à la maille maître. On peut aussi utiliser la moyenne entre la normale à la maille maître et la normale à la maille esclave.



**Figure 4.3.2-a : Exemple d'utilisation de la moyenne entre la direction de la normale maître et celle de la normale esclave**

La surface maître est celle définie par GROUP\_MA\_1 (ou MAILLE\_1), la maille esclave est celle définie par GROUP\_MA\_2 (ou MAILLE\_2).

Cette méthode d'appariement peut être utilisée en grands déplacements.

**Choix des surfaces maître et esclaves :**

Si une surface est maillée beaucoup plus finement que l'autre, il vaut mieux que ce soit l'esclave pour limiter l'interpénétration.

Si une des surfaces est rigide, il vaut mieux que ce soit la surface maître.

Une surface maître peut être appariée à plusieurs surfaces esclaves mais une surface esclave ne peut correspondre qu'à une seule surface maître.

### 4.3.3 Les difficultés

Pour les méthodes CONTRAINTE et LAGRANGE, les conditions de contact sont imposées au moyen de multiplicateurs de Lagrange sur les nœuds esclaves (pour les méthodes CONTRAINTE et LAGRANGE).

Or on ne peut mettre qu'un multiplicateur de Lagrange par nœud et par direction.

Les conséquences immédiates de cette remarque sont :

- un point ne doit pas appartenir à plusieurs surfaces esclaves,
- les points des surfaces esclaves ne doivent pas porter de conditions de Dirichlet (DDL\_IMPO, FACE\_IMPO, LIAISON...).



#### 4.3.4 Des solutions possibles

On peut regrouper différentes surfaces de contact en une seule. Les surfaces de contact peuvent être anguleuses. Elles peuvent aussi être composées de surfaces de maillage disjointes.

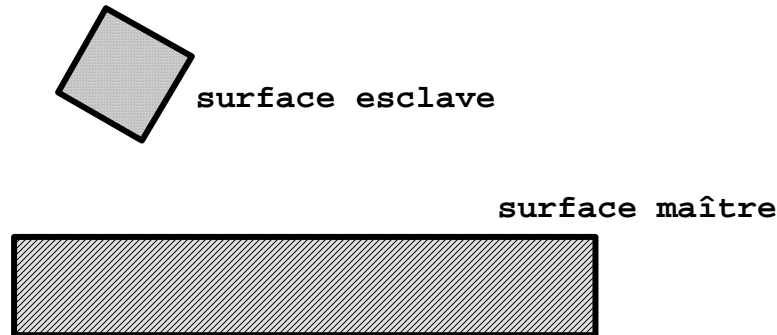


Figure 4.3.4-a : Exemple de surfaces de contact anguleuses

On peut exclure certains points des surfaces esclaves. On utilise pour cela les mots-clés `SANS_NO` et `SANS_GROUP_NO`. Cette méthode est utilisée par exemple pour exclure d'une surface esclave les nœuds d'une arête sur laquelle on a imposé une condition aux limites.

#### 4.3.5 Un cas particulier

Il est possible que la surface esclave entre en contact avec un prolongement de la surface maître.



Figure 4.3.5-a : Exemple de contact avec le prolongement de la surface maître

Il existe deux solutions à ce problème.

La première consiste à choisir pour surface maître la plus étendue.

La deuxième consiste à élargir la surface maître et prendre en compte les autres côtés. (voir [Figure 4.3.4-a]).

Ce comportement peut également perturber des problèmes de géométrie plus compliquée.

### 4.4 Conditions aux limites

On rappelle qu'un nœud esclave ne doit pas porter de condition aux limites (voir paragraphe précédent).

Le calcul doit pouvoir se faire même quand on supprime le contact. En dynamique, cela n'impose pas de contrainte particulière. En statique, il faut que la structure ne tienne pas que par le contact. On fera donc attention à bloquer tous les modes de corps rigides.

Pour bloquer un mode de corps rigide, il suffit d'appliquer à la structure un déplacement imposé (nul ou non) dans la direction à bloquer. Une autre méthode est de bloquer le mode de corps rigide avec un ressort de faible raideur qui ne va pas trop perturber le résultat du calcul. Cette solution n'est pas anodine et il est conseillé de vérifier les résultats du calcul en faisant une étude paramétrique sur la raideur du ressort.

## 4.5 Surfaces rigides

Il se peut qu'une des surfaces du modèle soit infiniment rigide.

On conseillera même, dans un souci de simplification du problème, de considérer comme infiniment rigide toute surface beaucoup plus rigide que les autres.

La modélisation d'une surface rigide se fait en bloquant ses degrés de liberté avec des conditions cinématiques.

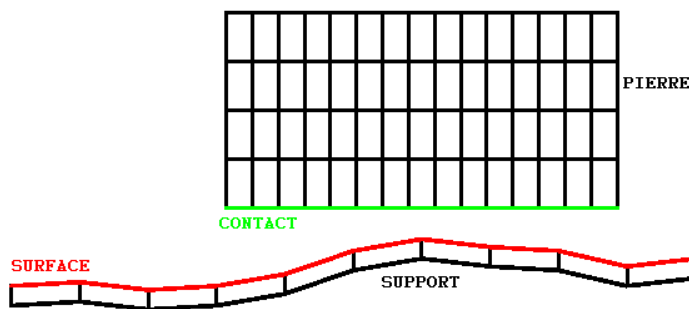
On peut aussi augmenter son module d'Young pour le placer à au moins un ordre de grandeur au dessus des modules d'Young des autres surfaces. Mais cette dernière méthode est largement déconseillée car elle peut introduire des difficultés numériques.

Dans le cas d'un problème de contact, la surface rigide sera de préférence la surface maître.

Les parties planes de la surface rigide peuvent être modélisées très grossièrement. Par contre, pour une meilleure définition des normales, il est conseillé de mailler finement les zones courbes.

Si la surface rigide est la surface esclave, on ne pourra pas traiter le problème en posant des conditions cinématiques....

### 4.5.1 Extraits d'un fichier de commande comportant une surface rigide



```
...
MODE=AFFE_MODELE(   MAILLAGE=MA,
                    VERIF='MAILLE',
                    AFPE=(_F( TOUT='OUI',
                              PHENOMENE = 'MECANIQUE',
                              MODELISATION = 'D_PLAN'))),);

MA=MODI_MAILLAGE(   REUSE=MA,
                    MAILLAGE=MA,
                    MODELE=MODE,
                    ORIE_PEAU_2D=_F(GROUP_MA= ('CONTACT', 'SURFACE')),
                    INFO=2);

...
CH=AFFE_CHAR_MECA(  MODELE=MODE,
                    DDL_IMPO=(_F( GROUP_MA = 'SURFACE',DX = 0.,DY = 0. )),
                    CONTACT=_F(REAC_GEOM='CONTROLE',
                                NB_REAC_GEOM=2,
                                GROUP_MA_1='SURFACE',
                                GROUP_MA_2='CONTACT',
                                METHODE='LAGRANGIEN',
                                FROTTEMENT = 'COULOMB',
                                PESANTEUR=(9.8,0.,-1.,0.)),);
```

```
RESU=DYNA_NON_LINE ( MODELE=MODE ,  
                      CHAM_MATER=CHMAT ,  
                      EXCIT=_F ( CHARGE=CH , ) ,  
                      ETAT_INIT=_F ( VITE = VIT_0 ) ,  
                      COMP_INCR=_F ( RELATION='ELAS' ,  
                                    DEFORMATION='SIMO_MIEHE' ,  
                                    TOUT='OUI' , ) ,  
                      INCREMENT=_F ( LIST_INST=L_INST ,  
                                    SUBD_PAS=4 ,  
                                    SUBD_PAS_MINI=1.E-17 ,  
                                    COEF_SUBD_PAS_1=1.0 , ) ,  
                      HHT=_F ( ALPHA=-0.05 ) ,  
                      NEWTON=_F ( REAC_ITER=1 ,  
                                 MATRICE='TANGENTE' , ) ,  
                      CONVERGENCE=_F ( RESI_GLOB_RELA=1.E-06 ,  
                                       ITER_GLOB_MAXI=25 ,  
                                       ARRET='OUI' , ) ,  
                      ARCHIVAGE=_F ( ARCH_ETAT_INIT='OUI' ,  
                                    PAS_ARCH=100 , ) , ) ;
```

## 4.6 Le frottement

La modélisation du frottement en 3D est une chose assez délicate. Aussi, si dans une étude 3D le coefficient de frottement est très faible, il est conseillé de négliger les frottements.

Pour une étude avec frottement, il est conseillé de la traiter dans un premier temps sans frottement afin de donner un ordre de grandeur de la réponse et dans le souci d'introduire les difficultés les unes après les autres.

## 5 Calculs

Il est fortement conseillé de lire les documentations U4 de `AFFE_CHAR_MECA` et de `STAT_NON_LINE` ou `DYNA_NON_LINE`.

Le contact est traité comme une charge dans l'équation de la dynamique.

Les difficultés rencontrées au cours du calcul ne sont pas obligatoirement dues au contact.

Le traitement du contact est une des non linéarités du problème. Le problème peut comporter d'autres non linéarités.

### 5.1 Prise en compte du contact – frottement

Dans l'opérateur `AFFE_CHAR_MECA`, on est amené à choisir la méthode de calcul du contact. Trois méthodes sont possibles : `'CONTRAINT'`, `'LAGRANGE'` et `'PENALISATION'`.

#### 5.1.1 'CONTRAINT'

Elle est basée sur l'algorithme des contraintes actives (voir les documentations R de référence pour plus de détails).

C'est une méthode exacte. Elle utilise les multiplicateurs de lagrange. Il n'y a pas interpénétration entre les structures.

On ne peut pas l'utiliser avec du frottement.

## 5.1.2 'LAGRANGE'

C'est une méthode exacte.

Elle utilise les multiplicateurs de Lagrange et un algorithme équivalent à celui de la méthode CONTRAINTE.

Cette méthode permet l'utilisation du frottement.

## 5.1.3 'PENALISATION'

Cette méthode traite le frottement pénalisé (coefficient ET), mais le contact est soit pénalisé (coefficient EN) soit traité par multiplicateur de lagrange. C'est l'utilisateur qui décide (s'il fournit EN le contact est pénalisé, s'il ne le fournit pas le contact est traité par multiplicateur de Lagrange).

### 5.1.3.1 Choix des coefficients de pénalisation

Le choix des coefficients de pénalisation est un choix délicat. D'autant plus que le résultat obtenu est très dépendant de ce coefficient.

Plus le coefficient de pénalisation sera élevé, plus le résultat sera proche du résultat exact. Mais un coefficient de pénalisation trop élevé (par rapport aux autres raideurs du problème) peut induire des problèmes numériques.

En pratique, on peut commencer par un coefficient du même ordre de grandeur que le plus petit module d'Young du problème. Ensuite, on l'augmente petit à petit (d'un facteur 10 par exemple) jusqu'à la stabilisation des résultats.

#### Remarque :

*Pour le coefficient EN, on peut valider le résultat du calcul en vérifiant que l'interpénétration n'est pas trop grande. On peut parfois l'augmenter jusqu'à  $10^7$  à  $10^8$  fois le plus petit module d'Young.*

### 5.1.3.2 Avantages et inconvénients

La pénalisation n'induit pas de discontinuité des champs de vitesse. Ce qui peut être un avantage dans un calcul en dynamique.

Cependant elle n'est pas exacte car elle autorise l'interpénétration, et les résultats sont très dépendants des coefficients de pénalisation.

## 5.1.4 Remarques

Voici une liste de remarques pour aider au choix de la méthode.

Pour un calcul élastique, la méthode 'LAGRANGE' (ou des contraintes actives s'il n'y a pas de frottement) est plus rapide.

La pénalisation donne des résultats très dépendants des coefficients de pénalisation.

Dans le cas d'un calcul avec frottement pénalisé, on peut vérifier ses résultats en essayant avec une autre méthode.

Dans le cas d'un contact normal pénalisé, une vérification peut être la profondeur d'interpénétration. Elle ne doit pas être trop grande.

On rappelle qu'on ne peut utiliser qu'une seule méthode pour les conditions de contact d'un même calcul.

En 2D, on utilisera plutôt 'LAGRANGE' ou 'CONTRAINTE'.

## 5.2 Frottement

Lorsqu'on active le frottement, il faut fournir un coefficient de frottement Coulomb dans tous les cas. En 3D en contact surfacique (mailles 2D), il faut aussi fixer le `COEFFICIENT_MATR_FROT` (voir la documentation U4). Et dans le cas d'un calcul avec pénalisation, il faut donner ET (voir § pénalisation).

## 5.3 Interpénétration

A l'issue du calcul, on peut observer une interpénétration des structures. Elle peut être due à plusieurs raisons.

### 5.3.1 Calcul pénalisé

Dans le cas d'un calcul pénalisé, il y a toujours interpénétration au moment du contact, puisque les forces de contact deviennent actives quand le jeu est négatif. Cette interpénétration est plus faible si les coefficients de pénalisation normaux (EN) sont plus élevés.

### 5.3.2 Dissymétrie maître / esclave

On peut avoir une interpénétration des nœuds maîtres dans les surfaces esclaves. Pour certaines géométries, ce phénomène peut devenir gênant (interpénétration trop profonde, ou pénétration complète d'un relief de la maille maître dans une surface esclave). Il suffit de mailler plus finement les surfaces esclaves dans les régions concernées.

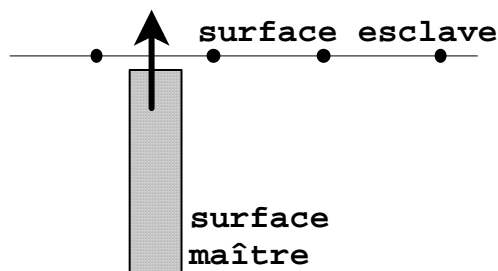


Figure 5.3.2-a : Exemple d'interpénétration due à la dissymétrie maître / esclave

### 5.3.3 Visualisation

On fera bien sûr attention aux artefacts de visualisation.

Comme on a vu dans le § Epaisseur matériau, si on utilise les mots clefs DIST\_1 et DIST\_2, on peut alors voir de l'interpénétration alors qu'il n'y en a pas ( $DIST_1 + DIST_2 < 0$ ) ou ne pas voir du contact alors qu'il y en a ( $DIST_1 + DIST_2 > 0$ ).

Lors d'une visualisation, on est amené à choisir un facteur d'échelle. Ce facteur multiplie les déplacements et permet à l'utilisateur de mieux les observer. Dans le cas d'une étude avec contact, il faut mettre ce facteur d'échelle à 1.

Si ce facteur est supérieur à 1, on peut observer beaucoup d'interpénétration là où il n'y en a pas du tout.

## 5.4 Le calcul

Le calcul se fait avec STAT\_NON\_LINE ou DYNA\_NON\_LINE. Il est conseillé de lire les documentations U4 associées à ses opérateurs. On pourra aussi se reporter aux documents de la formation Aster. Au moment de faire les choix des différentes options, on n'oubliera pas que le problème de contact est non linéaire.

On se posera la question de savoir si on travaille en petits ou en grands déplacements.

On rappelle que les options de recherche linéaire et celle de pilotage ne sont pas possibles avec le contact.

## 5.5 Grands déplacements

On considère dans ce paragraphe, les problèmes en grands déplacements.

La détection du contact se fait d'après la géométrie de la structure et les relations de non interpénétration s'appuient sur les directions des normales. En cas de grands déplacements, on a donc besoin de travailler sur une géométrie réactualisée.

On ne parle pas ici de grandes déformations. La possibilité ou non de traiter les grandes déformations ne dépend pas du contact.

Par ailleurs, on choisira des paramètres de calcul dans l'opérateur `STAT_NON_LINE` ou `DYNA_NON_LINE` compatibles avec un calcul en grands déplacements.

### 5.5.1 Recherche

La recherche de l'appariement se fait soit dans le voisinage direct du nœud de contact précédent, soit sur toute la structure. En cas de grands déplacements, on utilise la recherche sur toute la structure.

### 5.5.2 Réactualisation de la géométrie

Suivant si l'on travaille en grands ou en petits déplacements, on choisira une réactualisation de la géométrie différente.

`REAC_GEOM= 'SANS'`. Dans ce cas, on travaille sur la géométrie initiale. On n'utilise ce choix que pour des études en petits déplacements.

Pour les grands déplacements, on utilise un des deux autres choix.

Le choix par défaut est :

`REAC_GEOM= 'AUTO'`. La réactualisation de la géométrie est automatique. Elle se fait jusqu'à satisfaire un critère de convergence géométrique.

On peut aussi imposer le nombre d'itérations avec : `REAC_GEOM= 'CONTROLE'`. On précise ce nombre avec `NB_REAC_GEOM=n`.

- La valeur 1 indique qu'à convergence, on réactualise la géométrie et on passe au pas de charge suivant.
- La valeur 2 indique qu'à convergence, on ne passe pas au pas de charge suivant.  
On réactualise la géométrie et on réitère jusqu'à convergence.
- La valeur  $n > 2$  indique que l'on fait  $n$  cycles réactualisation géométrique-itérations jusqu'à convergence.

## 5.6 Le cas dynamique

Les remarques précédentes sont valables en statique (`STAT_NON_LINE`) et en dynamique (`DYNA_NON_LINE`).

On attirera l'attention sur quelques points particuliers aux calculs dynamiques.

Dans un problème traité avec multiplicateurs de Lagrange, au moment de l'impact la vitesse est discontinue. L'accélération n'est donc pas définie à cet instant.

Cette remarque peut être à l'origine de fortes oscillations de la réponse, ou d'une forte sensibilité au schéma de calcul utilisé et au pas de temps. On conseille fortement de commencer par le pas de temps qui respecte la condition de courant (temps mis par l'onde pour traverser un élément) puis de tester plusieurs pas de temps plus petits ou plus grands.

On peut atténuer les oscillations en utilisant un schéma qui génère de l'amortissement numérique.

Dans le cas d'un calcul pénalisé, il n'y a pas de saut de vitesse. Cette méthode est peut être plus correcte sur un plan mathématique, mais elle génère elle aussi des oscillations de la réponse au moment du contact.

## 6 Autres méthodes

Dans cette partie, on présente deux autres méthodes disponibles dans Code\_Aster pour traiter le contact. Leur domaine d'application est plus restreint (calcul pénalisé et contact ponctuel) mais elles possèdent quelques particularités qui peuvent être utiles et qui sont exposées ci dessous.

### 6.1 DYNA\_TRAN\_MODAL

Pour l'utilisation de cet opérateur, on conseille la lecture de la documentation U4.  
Pour le post-traitement, on lira en particulier la documentation U4 de POST\_DYNA\_MODAL\_T.

#### 6.1.1 Présentation

DYNA\_TRAN\_MODAL calcule une réponse dynamique transitoire sur base modale tronquée. Il permet la prise en compte du contact-frottement.

L'utilisation de cet opérateur suppose que le calcul modal est déjà fait.

DYNA\_TRAN\_MODAL propose plusieurs méthodes de calcul. On utilisera les méthodes explicites ('EULER', 'DEVOGE', 'ADAPT') pour traiter le contact.

On entre les données relatives au contact-frottement sous le mot clef 'CHOC'.

#### 6.1.2 Traitement du contact

Il s'agit d'un contact ponctuel, pénalisé, en petits déplacements.

On peut prendre en compte l'amortissement de choc. (On rappelle que l'effet de cet amortissement dépend du pas de temps.).

L'utilisateur fournit les couples de nœuds potentiellement en contact, ainsi que les coefficients de pénalisation (EN et ET) et d'amortissement.

#### 6.1.3 Modélisation

##### 6.1.3.1 Epaisseur matériau

Elle correspond à l'épaisseur matériau des charges de contact.

On remarque qu'un jeu initial négatif équivaut à une précontrainte.

##### 6.1.3.2 Obstacles non maillés

Il est possible de tenir compte de surfaces rigides non modélisées. Elles sont définies par DEFI\_OBSTACLE. Elles bloquent le déplacement d'un point à l'intérieur d'une courbe pré définie, ou entre deux plans.

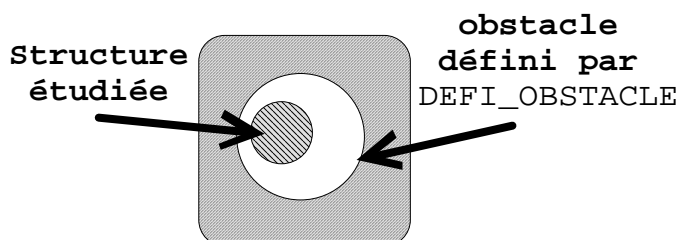


Figure 6.1.3.2-a : Exemple d'utilisation de DEFI\_OBSTACLE

Ces surfaces sont infiniment rigides, mais on peut leur affecter une souplesse par le biais des coefficients de pénalisation.

#### Remarque :

On peut faire évoluer ces obstacles au cours du calcul selon des profils déterminés avec les opérateurs POST\_USURE et MODI\_OBSTACLE. Sur ce point, il est conseillé de consulter les documentations U4 de POST\_USURE et de MODI\_OBSTACLE, pour voir sur quels types d'étude ces calculs sont applicables.

### 6.1.4 Conseils d'utilisation

Le choix des coefficients de pénalisations se fait de la même façon que pour la méthode pénalisée des charges de contact.

On élabore la base modale et on la garde dans une base Aster. On gagne alors beaucoup de temps sur les calculs transitoires.

Si le problème comprend des surfaces rigides, ou des surfaces de contact qui ne se déplacent pas, on peut les modéliser avec `DEFI_OBSTACLE`.

### 6.1.5 Post-traitement

Les composantes des résultats sont directement accessibles par `RECU_FONCTION`.

`DYNA_TRAN_MODAL` possède des post-traitement spécifiques. Ils permettent de faire des études d'impact ou des études d'usure. Ils sont accessibles à partir de `POST_DYNA_MODAL_T` et ses options 'IMPACT' ou 'USURE'. On se reportera à la documentation U4 de `POST_DYNA_MODAL_T` pour la liste des post-traitement compris dans ces deux options.

### 6.1.6 Bilan

Cette méthode du traitement du contact est limitée aux études de contact ponctuels, pénalisé, en petits déplacements.

Mis à part les non linéarités locales prévues par l'opérateur (comme les chocs ponctuels), le problème doit être linéaire, puisque le calcul est fait à partir de la base modale.

Dans son domaine d'utilisation, elle a l'avantage de prendre en compte l'amortissement et de disposer d'un post-traitement riche.

La troncature de la base modale permet de faire des calculs transitoires rapides. On fera cependant attention de bien choisir la taille de la base utilisée. Dans le cas d'une étude avec choc, on peut être amené à monter assez haut en fréquence.

La création d'obstacles hors maillage peut représenter un gain de taille important pour le modèle.

### 6.1.7 Un exemple

```
TRANGENE = DYNA_TRAN_MODAL (  METHODE = 'euler',
                               MASS_GENE = MASSEGEN,
                               RIGI_GENE = RIGIGEN,
                               EXCIT = (_F(VECT_GENE = FORC1,
                                             FONC_MULT = FONC1, ),
                                         _F(VECT_GENE = FORC2,
                                             FONC_MULT = FONC2, ), ),
                               INCREMENT = _F(INST_INIT = 0.,
                                                INST_FIN = 2.5,
                                                PAS = 4.E-5, ),
                               CHOC = (_F( GROUP_NO_1 = 'A',
                                             GROUP_NO_2 = 'AA',
                                             OBSTACLE = OBST1,
                                             NORM_OBST = (0.,1.,0.),
                                             JEU = 0.1,
                                             RIGI_NOR = 1.E11,
                                             RIGI_TAN = 1.5E8,
                                             COULOMB = 0.6, ),
                                         _F( GROUP_NO_1 = 'B',
                                             OBSTACLE = OBST2,
                                             NORM_OBST = (0.,1.,0.),
                                             JEU = 0.05,
                                             RIGI_NOR = 2.E9,
                                             RIGI_TAN = 2.E7,
                                             COULOMB = 0.5, ), ), );
```



## 6.2 DIS\_CONTACT

Les éléments `DIS_CONTACT` permettent de modéliser un contact ponctuel, pénalisé, en petits déplacements. Ce sont des éléments discrets.

Contrairement au chapitre précédent, le calcul est alors direct (opérateurs `STAT_NON_LINE` ou `DYNA_NON_LINE`).

Les éléments `DIS_CONTACT` sont généralement des éléments à deux nœuds, présents dans le maillage. Ils relient les deux points qui seront potentiellement en contact au cours du calcul. Il y a aussi des éléments à un nœud, auxquels il faut affecter un jeu dans la direction normale de choc (confondue avec l'axe local  $x$ ).

Ces éléments possèdent de nombreuses caractéristiques que l'on déclare dans `DEFI_MATERIAU`.

On conseille la lecture de la doc U4 de `DEFI_MATERIAU` pour obtenir la liste exhaustive de ces paramètres et leur définition.

L'intérêt de ces éléments est leur grande richesse de comportement. On peut leur donner des lois de comportement particulière (élasto-plastique, dépendantes du temps...).

Bien entendu, avant de multiplier l'utilisation de ces paramètres, il faudra se poser la question de savoir lesquels ont un sens pertinent pour l'étude.

Dans le fichier de commande suivant, on les utilise pour calculer le contact entre deux poutres modélisées en 3D.

### 6.2.1 Exemple de fichier de commande

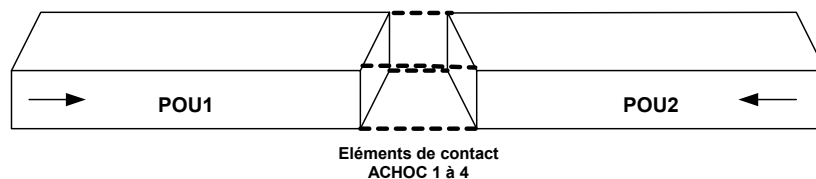


Figure 6.2.1-a : Maillage de l'étude

# Construction du maillage

```
MAIL=LIRE_MALLAGE( );
MAIL=DEFI_GROUP(reuse =MAIL,
               MAILLAGE=MAIL,
               CREA_GROUP_MA=_F(NOM='ACHOC',
                                UNION=('ACHOC1','ACHOC2','ACHOC3','ACHOC4',),),
               CREA_GROUP_NO=_F(TOUT_GROUP_MA='OUI',),);
```

# Les poutres POU1 et POU2 sont en 3D, alors que les éléments de choc sont des discrets. On leur attribue des caractéristiques grâce à l'opérateur `DEFI_MATERIAU`. Dans cette étude, on a choisi de tenir compte d'un amortissement (qui agit qu'il y ait contact ou non). On indique aussi le coefficient de pénalisation du choc.

(On rappelle que l'effet de l'amortissement dépend du pas de temps.)

Titre : **Modélisation du contact**  
Auteur(s) : **S. LAMARCHE**

Date : **04/11/03**  
Clé : **U2.04.04-A** Page : **26/28**

```
MODELE=AFFE_MODELE(MAILLAGE=MAIL,
    AFFE=(_F(GROUP_MA=('POU1','POU2'),,
        PHENOMENE='MECANIQUE',
        MODELISATION='3D',),
    _F(GROUP_MA=('ACHOC1','ACHOC2','ACHOC3','ACHOC4'),,
        PHENOMENE='MECANIQUE',
        MODELISATION='DIS_T',),),);

ACIER=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=200000000000.0,
    NU=0.3,
    RHO=7800.0),),);
AMOR=DEFI_MATERIAU(DIS_CONTACT=_F(RIGI_NOR=1000000000.0,
    AMOR_NOR=5.0),),);

CHMAT=AFFE_MATERIAU(MAILLAGE=MAIL,
    AFFE=(_F(GROUP_MA='POU1',
        MATER=ACIER,),
    _F(GROUP_MA='POU2',
        MATER=ACIER,),
    _F(GROUP_MA=('ACHOC1','ACHOC2','ACHOC3','ACHOC4'),,
        MATER=AMOR,),),);
```

# Pour le bon fonctionnement de l'opérateur DYNA\_NON\_LINE, on doit indiquer une matrice de raideur pour les éléments discrets. On choisit des coefficients nuls pour ne pas perturber la suite du calcul.

```
CARELEM=AFFE_CARA_ELEM(MODELE=MODELE,
    DISCRET=_F(GROUP_MA=('ACHOC1','ACHOC2','ACHOC3','ACHOC4'),,
        CARA='K_T_D_L',
        VALE=(0.0,0.0,0.0),),);
```

. . .

# Les éléments dis\_contact ont une relation de comportement 'DIS\_CHOC' que l'on renseigne dans COMP\_INCR. Alors que les poutres ont un comportement élastique.

```
U0=DYNA_NON_LINE(MODELE=MODELE,
    CHAM_MATER=CHMAT,
    CARA_ELEM=CARELEM,
    EXCIT=(_F(CHARGE=CONDLIM,)),
    COMP_INCR=(_F(RELATION='ELAS',
        DEFORMATION='PETIT',
        GROUP_MA=('POU1','POU2'),),
    _F(RELATION='DIS_CHOC',
        GROUP_MA=('ACHOC1','ACHOC2','ACHOC3','ACHOC4'),),),
    ETAT_INIT=_F(VITE=VITINI,),
    INCREMENT=_F(LIST_INST=L_INST,
        SUBD_PAS=3,
        SUBD_PAS_MINI=1e-08,),
    NEWMARK=_F(ALPHA=0.25,
        DELTA=0.5,),
    NEWTON=_F(MATRICE='TANGENTE',
        REAC_ITER=1,),
    SOLVEUR=_F(METHODE='MULT_FRONT',),
    CONVERGENCE=_F(RESI_GLOB_RELA=1e-05,
        ITER_GLOB_MAXI=60,
        ARRET='OUI',),
    ARCHIVAGE=_F(LIST_INST=L_ARCH,),);
```

## 7 Bibliographie

---

- [1] N. TARDIEU : *Code\_Aster*, documentation Référence, [R5.03.50], 2001
- [2] P. MASSIN : *Code\_Aster*, documentation Référence, [R5.03.51], 2001
- [3] X. DESROCHES : *Code\_Aster*, documentation Utilisation, [U4.44.01], 2003
- [4] E. BOYERE : *Code\_Aster*, documentation Utilisation, [U4.53.21], 2003
- [5] V. CANO : *Code\_Aster*, documentation Utilisation, [U4.51.03], 2003
- [6] G. DEVESA : *Code\_Aster*, documentation Utilisation, [U4.51.01], 2003
- [7] E. BOYERE : *Code\_Aster*, documentation Utilisation, [U4.84.02], 2003
- [8] J.P. LEFEBVRE : *Code\_Aster*, documentation Utilisation, [U4.43.01], 2003

Page laissée intentionnellement blanche