

**Manuel de Validation****Fascicule V6.04 : Statique non linéaire des structures volumiques****Document : V6.04.503**

# SSNV503 - Patin glissant sur un plan rigide

---

**Résumé :**

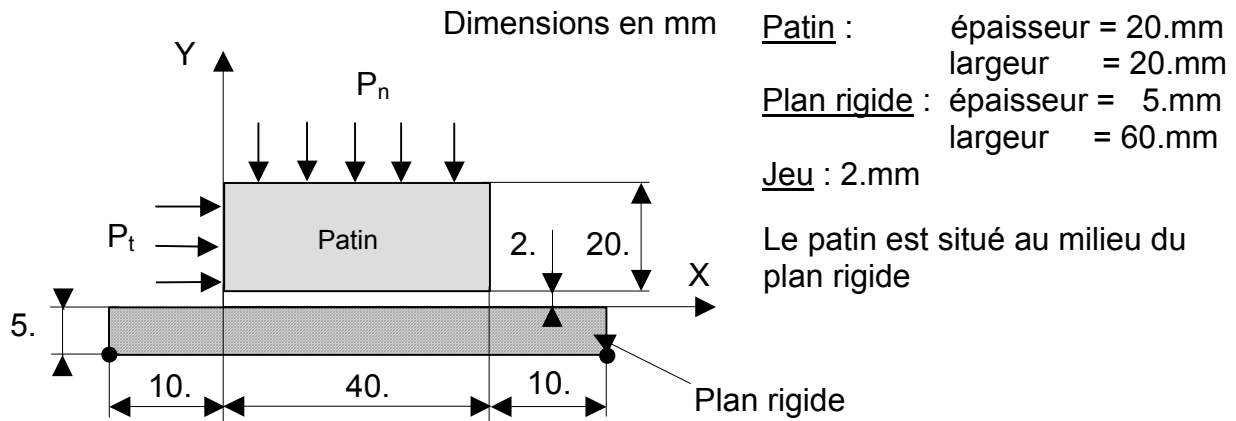
Ce test représente un calcul de contact d'un patin glissant sur un plan rigide. L'objectif de ce test est de permettre de valider de manière certaine le calcul du critère de Coulomb et la bonne transmission de la pression.

Les différentes modélisations de la zone de contact testées sont les suivantes :

- **Modélisation A** (2D) : contact nœud-maille, méthode lagrangienne pour le contact et le frottement, jeu géométrique.
- **Modélisation B** (2D) : contact nœud-maille avec méthode lagrangienne et jeu défini par une fonction.
- **Modélisation C** (2D) : contact nœud-maille, méthode lagrangienne pour le contact et pénalisée pour le frottement, jeu géométrique.
- **Modélisation D** (2D) : contact nœud-maille, méthode pénalisée pour le contact et le frottement, jeu géométrique.
- **Modélisation E** (3D) : contact nœud-maille, méthode lagrangienne pour le contact et pénalisée pour le frottement, jeu géométrique.
- **Modélisation F** (3D) : contact nœud-maille, méthode lagrangienne pour le contact et pénalisée pour le frottement, jeu défini par une fonction.
- **Modélisation G** (3D) : contact nœud-maille, méthode pénalisée pour le contact et le frottement, jeu géométrique.
- **Modélisation H** (2D) : contact nœud-maille, méthode continue pour le contact et le frottement, jeu géométrique.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie



### 1.2 Propriétés du matériau

Patin :  
 $E = 2.1 \cdot 10^6 \text{ N/mm}^2$  Module d'young  
 $\nu = 0$  Coefficient de poisson

Plan rigide par conditions cinématiques.

Zone de contact:

$\mu = 0.3$  Coefficient de frottement

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

Conditions aux limites :

- Tous les nœuds du plan rigide sont encastrés.

3 cas de chargement :

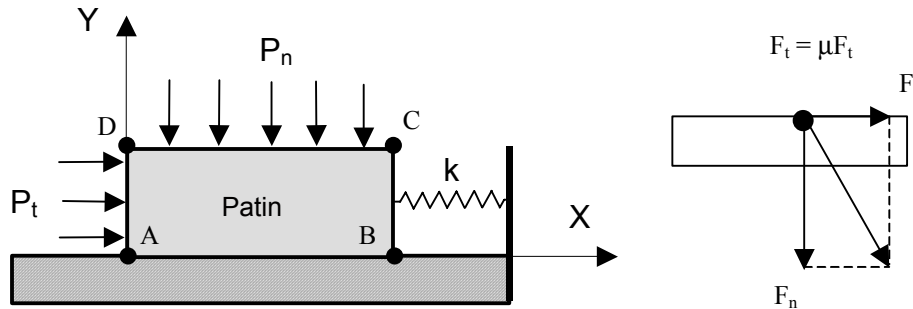
- Pression normale  $P_n = 300 \text{ N/mm}^2$
- Pression normale  $P_n = 300 \text{ N/mm}^2$  et pression tangentielle  $P_t = 178.2 \text{ N/mm}^2$
- Pression normale  $P_n = 300 \text{ N/mm}^2$  et pression tangentielle  $P_t = 181.8 \text{ N/mm}^2$

### 1.4 Conditions initiales

Aucune.

## 2 Solution de référence

### 2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence



Hypothèse de calcul : On néglige la déformation du patin.

- **Chargement 1 (Pression normale  $P_n$ : 300N/mm<sup>2</sup>)** : on vérifie :
  - la bonne transmission des efforts normaux au niveau de la zone de contact : la pression normale au niveau de la zone de contact est égale à la pression appliquée ( $P_n = P_n^{contact}$ )
  - que le déplacement vertical du patin au niveau de la zone de contact AB est égal au jeu.
- **Chargement 2 ( $P_n$ : 300N/mm<sup>2</sup> et  $P_t$  = 178.2N/mm<sup>2</sup>)** : on vérifie que les nœuds du patin situés dans la zone de glissement (AB) ne se déplacent pas tangentiellement :

$$P_t = \frac{\mu P_n S_{CD}}{S_{AD}} 0.99$$

- **Chargement 3 ( $P_n$ : 300N/mm<sup>2</sup> et  $P_t$  = 181.8N/mm<sup>2</sup>)** : on vérifie que les nœuds du patin situés dans la zone de glissement (AB) se déplacent de 9mm suivant X.

$$P_t = \frac{\mu P_n S_{CD}}{S_{AD}} 1.01$$

Détermination de la raideur k du ressort : on veut déterminer la raideur du ressort en fonction du déplacement souhaité. Au moment du glissement, la force dans le ressort est de :

$$F_r = F_t - \mu F_n = 0,01 \mu F_n \quad \text{avec } (F_t = 181.8 \times 20, F_n = 300 \times 40)$$

$F_r = K U_t$	: force dans le ressort
$F_t = P_t \times S_{AD}$	: force tangentielle
$F_n = P_n \times S_{CD}$	: force normale
$U_t$	: déplacement tangentiel
$S_{AD}$	: surface
$S_{DC}$	: surface

Pour un déplacement de 9. mm la rigidité k du ressort doit-être de  $0.01 \mu F_n / 9 = 4 \text{ N/mm}$

## 2.2 Résultats de référence

- **Chargement 1 (Pression normale  $P_n$ ) :**  $P_n^{contact} = 300\text{N} / \text{mm}^2$
- **Chargement 2 ( $P_n$ : 300N/mm<sup>2</sup> et  $P_t = 178.2\text{N/mm}^2$ ) :** on vérifie qu'il existe au moins un nœud de la surface de contact qui ne glisse pas. On teste qu'au moins un des nœuds situés sur la face opposée à l'application du chargement latéral ne glisse pas.
- **Chargement 3 ( $P_n$ : 300N/mm<sup>2</sup> et  $P_t = 181.8\text{N/mm}^2$ ) :** on vérifie que tous les nœuds de la surface de contact glissent. On teste que tous les nœuds situés sur la face opposée à l'application du chargement latéral glissent.

## 2.3 Incertitudes sur la solution

< 0,1%

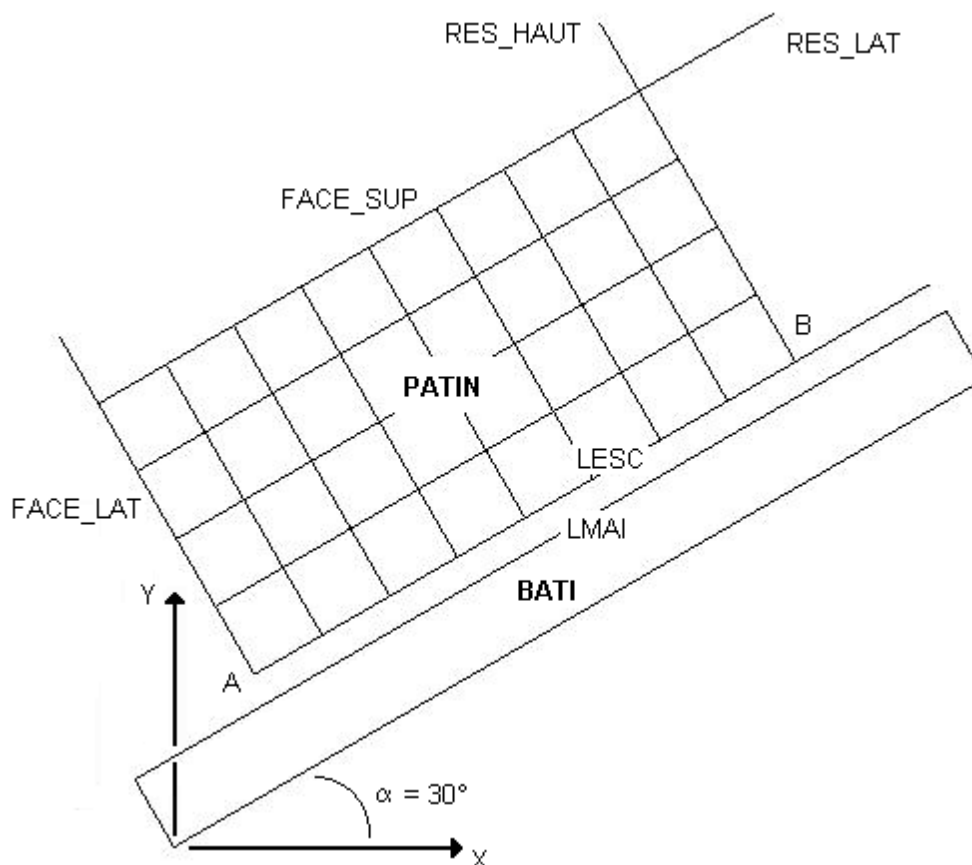
## 2.4 Références bibliographiques

Sans Objet

### 3 Modélisation A

#### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Une modélisation « D\_PLAN » avec des éléments QUAD4 testant les fonctionnalités de contact nœud-maître avec frottement traité avec la méthode lagrangienne a été mise en œuvre.



Le jeu entre le patin et le bâti est défini par les coordonnées géométriques du maillage.

Pour éviter les mouvements de corps rigide, le patin est maintenu par des ressorts de rigidité faible :

RES\_LAT :  $k = 2 \text{ N/mm}$   
RES\_HAUT :  $k = 0,005 \text{ N/mm}$

Conditions aux limites :

Extrémité libre des ressorts :  $DX=DY=0$ .

Bâti :  $DX=DY=0$ .

#### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 53

Nombre et types de mailles : 33 QUAD4, 32 SEG2

## 3.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé
MODI_MALLAGE	ORIE_PEAU_2D	
AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION : 'D_PLAN'
DEFI_MATERIAU	ELAS	
AFFE_CHAR_MECA	CONTACT	APPARIEMENT : 'MAIT_ESCL' RECHERCHE : 'NEUD_BOUCLE' METHODE : 'LAGRANGIEN' FROTTEMENT : 'COULOMB' COULOMB : 0.3
STAT_NON_LINE	COMP_ELAS	RELATION : 'ELAS'

## 4 Résultats de la modélisation A

### 4.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
<b>Chargement 1</b>			
Force normale de contact	1.200000 E+04 N	1.199998 E+04 N	-1.69E-04
Force tangentielle de contact	0. N	-1.999547 E-05 N	-2.00E-05
DX (point A)	1.000 mm	1.000000 E+00 mm	1.01E-07
DY (point A)	-1.732 mm	-1.732051 E+00 mm	0.003
DX (point B)	1.000 mm	1.000000 E+00 mm	1.42E-08
DY (point B)	-1.732 mm	-1.732055 E+00 mm	0.003
<b>Chargement 2</b>			
Force normale de contact	1.200000 E+04 N	1.199998 E+04 N	-1.68E-04
Force tangentielle de contact	-3.564000 E+04 N	-3.563962 E+03 N	-0.001
DX (point A)	1.000 mm	1.021344 E+00 mm	2.134
DY (point A)	-1.732 mm	-1.719728 E+00 mm	-0.709
DX (point B)	1.000 mm	1.000000 E+00 mm	4.48E-11
DY (point B)	-1.732 mm	-1.732051 E+00 mm	0.003
<b>Chargement 3</b>			
Force normale de contact	1.200000 E+04 N	1.199998 E+04 N	-1.70E-04
Force tangentielle de contact	-3.624000 E+04 N	-3.599992 E+03 N	-0.662
DX (point A)	8.787 mm	8.809533 E+00 mm	0.177
DY (point A)	2.768 mm	2.776785 E+00 mm	0.317
DX (point B)	8.787 mm	8.786943 E+00 mm	-0.080
DY (point B)	2.768 mm	2.763743 E+00 mm	-0.154

### 4.2 Remarques

- Le jeu est défini dans ce cas de manière géométrique. On a la possibilité de le définir via les mots clés « DIST\_1 » et « DIST\_2 ». Ceci est fait dans le modèle suivant.
- Les pressions normale et tangentielle au niveau de la zone de contact sont vérifiées en testant la force globale de contact dans le sens normal et tangentiel :

$$F_n^{CTAC} = p_n S_{DC} = 300 * 40 * 1 = 12000 N$$

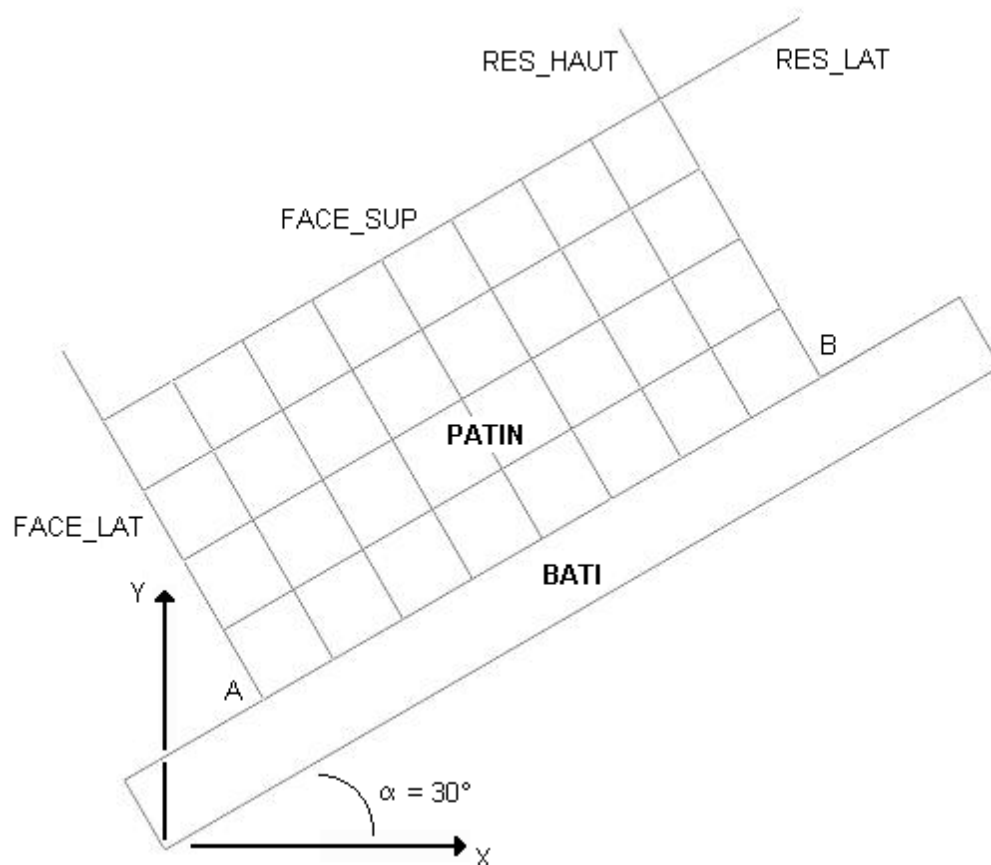
$$F_t^{CTAC} = p_t S_{AD} = 178.2 * 20 * 1 = 35640 N \quad (\text{Chargement 2})$$

$$F_t^{CTAC} = p_t S_{AD} = 181.8 * 20 * 1 = 36240 N \quad (\text{Chargement 3})$$

## 5 Modélisation B

### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

Une modélisation « D\_PLAN » avec des éléments QUAD4 testant les fonctionnalités de contact nœud-maître avec frottement traité avec la méthode lagrangienne a été mise en œuvre.



Le jeu entre le patin et le bâti est défini par une fonction à l'aide du mot clé « DIST\_2 ».

Pour éviter les mouvements de corps rigide, le patin est maintenu par des ressorts de rigidité faible :

RES\_LAT :  $k = 2 \text{ N/mm}$   
RES\_HAUT :  $k = 0,005 \text{ N/mm}$

Conditions aux limites :

Extrémité libre des ressorts :  $DX=DY=0$ .  
Bâti :  $DX=DY=0$ .

### 5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 53  
Nombre et types de mailles : 33 QUAD4, 32 SEG2

## 5.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé
MODI_MALLAGE	ORIE_PEAU_2D	
AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION : 'D_PLAN'
DEFI_MATERIAU	ELAS	
AFFE_CHAR_MECA	CONTACT	APPARIEMENT : 'MAIT_ESCL' RECHERCHE : 'NŒUD_BOUCLE' METHODE : 'LAGRANGIEN' FROTTEMENT : 'COULOMB' COULOMB : 0.3 DIST_2 : -2.
STAT_NON_LINE	COMP_ELAS	RELATION : 'ELAS'

## 6 Résultats de la modélisation B

### 6.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
<b>Chargement 1</b>			
Force normale de contact	1.200000 E+04 N	1.199998 E+04 N	-1.71E-04
Force tangentielle de contact	0. N	-7.724662 E-05 N	-7.72E-05
DX (point A)	1.000 mm	9.999999 E-01 mm	-3.83E-09
DY (point A)	-1.732 mm	-1.732055 E+00 mm	0.003
DX (point B)	1.000 mm	1.000000 E+00 mm	3.32E-08
DY (point B)	-1.732 mm	-1.732055 E+00 mm	0.003
<b>Chargement 2</b>			
Force normale de contact	1.200000 E+04 N	1.199998 E+04 N	-1.70E-04
Force tangentielle de contact	-3.564000 E+04 N	-3.563962 E+03 N	-0.001
DX (point A)	1.000 mm	1.021344 E+00 mm	2.134
DY (point A)	-1.732 mm	-1.719727 E+00 mm	-0.709
DX (point B)	1.000 mm	1.000000 E+00 mm	1.81E-08
DY (point B)	-1.732 mm	-1.732051 E+00 mm	0.003
<b>Chargement 3</b>			
Force normale de contact	1.200000 E+04 N	1.199998 E+04 N	-1.70E-04
Force tangentielle de contact	-3.624000 E+04 N	-3.599992 E+03 N	-0.662
DX (point A)	8.787 mm	8.809533 E+00 mm	0.177
DY (point A)	2.768 mm	2.776785 E+00 mm	0.317
DX (point B)	8.787 mm	8.786943 E+00 mm	-0.080
DY (point B)	2.768 mm	2.763743 E+00 mm	-0.154

### 6.2 Remarque

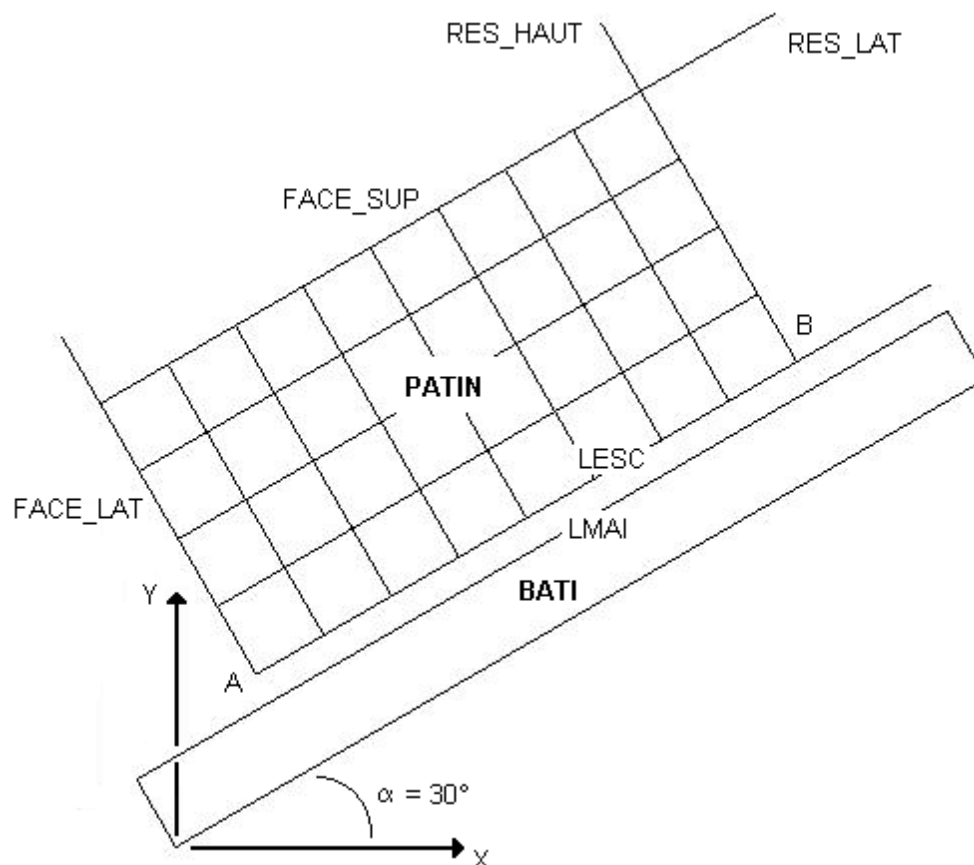
Le jeu est défini dans ce cas par une fonction. Il n'y a aucune différence avec le modèle précédent où le jeu est défini de manière géométrique.



## 7 Modélisation C

### 7.1 Caractéristiques de la modélisation

Une modélisation « D\_PLAN » avec des éléments QUAD4 testant les fonctionnalités de contact nœud-maître avec frottement traité avec la méthode lagrangienne pour le contact et pénalisée pour le frottement a été mise en œuvre.



Le jeu entre le patin et le bâti est défini par les coordonnées géométriques du maillage.

Pour éviter les mouvements de corps rigide, le patin est maintenu par des ressorts de rigidité faible :

RES\_LAT :  $k = 2 \text{ N/mm}$

RES\_HAUT :  $k = 0,005 \text{ N/mm}$

Conditions aux limites :

Extrémité libre des ressorts :  $DX=DY=0$ .

Bâti :  $DX=DY=0$ .

### 7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 53

Nombre et types de mailles : 33 QUAD4, 32 SEG2

## 7.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé
MODI_MAILLAGE	ORIE_PEAU_2D	
AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION : 'D_PLAN'
DEFI_MATERIAU	ELAS	
AFFE_CHAR_MECA	CONTACT	APPARIEMENT : 'MAIT_ESCL' RECHERCHE : 'NŒUD_BOUCLE' METHODE : 'PENALISATION' E_T : 1.E+05 FROTTEMENT : 'COULOMB' COULOMB : 0.3 COEF_MATR_FROT : 0.9
STAT_NON_LINE	COMP_ELAS	RELATION : 'ELAS'

## 8 Résultats de la modélisation C

### 8.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
<b>Chargement 1</b>			
Force normale de contact	1.200000 E+04 N	1.199998 E+04 N	-1.69E-04
Force tangentielle de contact	0. N	-7.731180 E-06 N	7.73E-06
DX (point A)	1.000 mm	9.999999 E-01 mm	-6.84E-08
DY (point A)	-1.732 mm	-1.732055 E+00 mm	0.003
DX (point B)	1.000 mm	1.000000 E+00 mm	1.07E-04
DY (point B)	-1.732 mm	-1.732055 E+00 mm	0.003
<b>Chargement 2</b>			
Force normale de contact	1.200000 E+04 N	1.199998 E+04 N	-1.69E-04
Force tangentielle de contact	-3.564000 E+04 N	-3.563959 E+03 N	-0.001
DX (point A)	1.000 mm	1.026850 E+00 mm	2.185
DY (point A)	-1.732 mm	-1.719435 E+00 mm	-0.725
DX (point B)	1.000 mm	1.000506 E+00 mm	0.051
DY (point B)	-1.732 mm	-1.731759 E+00 mm	-0.014
<b>Chargement 3</b>			
Force normale de contact	1.200000 E+04 N	1.199998 E+04 N	-1.69E-04
Force tangentielle de contact	-3.624000 E+04 N	-3.599992 E+03 N	-0.662
DX (point A)	8.787 mm	8.809533 E+00 mm	0.177
DY (point A)	2.768 mm	2.776785 E+00 mm	0.317
DX (point B)	8.787 mm	8.786944 E+00 mm	-0.080
DY (point B)	2.768 mm	2.763743 E+00 mm	-0.154

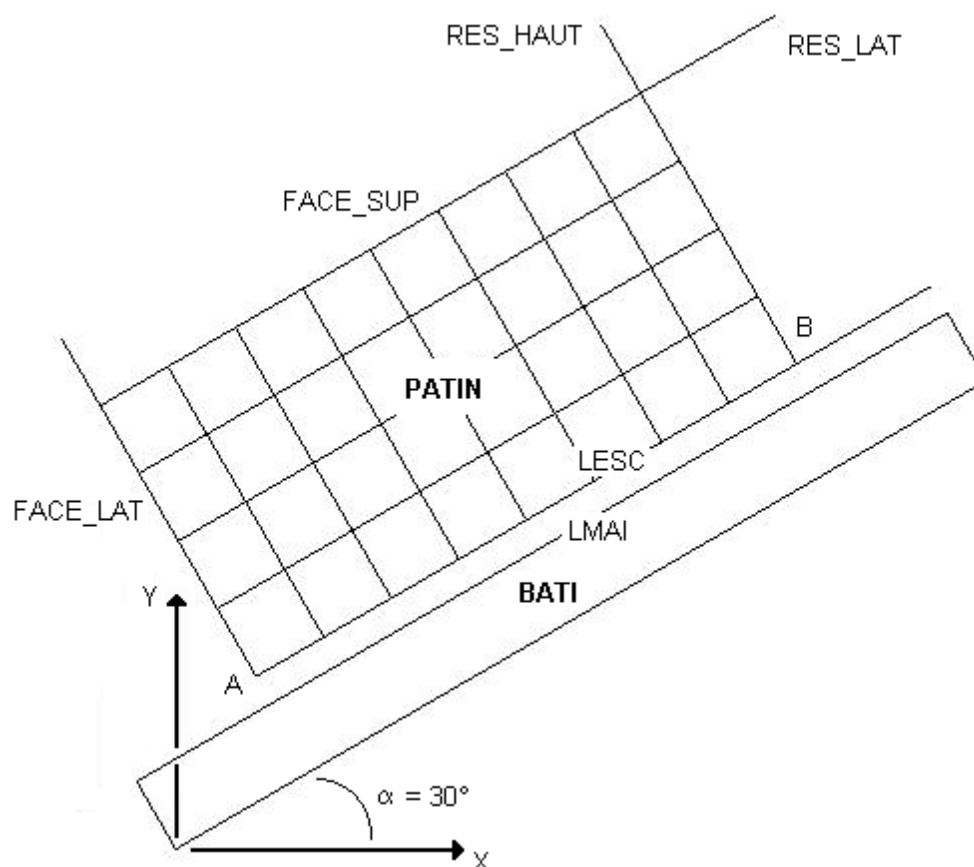
### 8.2 Remarque

Le jeu est défini dans ce cas de manière géométrique. On a la possibilité de le définir via les mots clés « DIST\_1 » et « DIST\_2 ». Après vérification, ce second cas ne change rien au résultat.

## 9 Modélisation D

### 9.1 Caractéristiques de la modélisation

Une modélisation « D\_PLAN » avec des éléments QUAD4 testant les fonctionnalités de contact nœud-maître avec frottement traité avec la méthode pénalisée pour le contact et le frottement a été mise en œuvre.



Le jeu entre le patin et le bâti est défini par les coordonnées géométriques du maillage.

Pour éviter les mouvements de corps rigide, le patin est maintenu par des ressorts de rigidité faible :

RES\_LAT :  $k = 2 \text{ N/mm}$

RES\_HAUT :  $k = 0,005 \text{ N/mm}$

Conditions aux limites :

Extrémité libre des ressorts :  $DX=DY=0$ .

Bâti :  $DX=DY=0$ .

### 9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 53

Nombre et types de mailles : 33 QUAD4, 32 SEG2

## 9.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé
MODI_MALLAGE	ORIE_PEAU_2D	
AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION : 'D_PLAN'
DEFI_MATERIAU	ELAS	
AFFE_CHAR_MECA	CONTACT	APPARIEMENT : 'MAIT_ESCL' RECHERCHE : 'NœUD_BOUCLE' METHODE : 'PENALISATION' E_T : 1.E+05 E_N : 1.E+05 FROTTEMENT : 'COULOMB' COULOMB : 0.3 COEF_MATR_FROT : 0.9
STAT_NON_LINE	COMP_ELAS	RELATION : 'ELAS'

## 10 Résultats de la modélisation D

### 10.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
<b>Chargement 1</b>			
Force normale de contact	1.200000 E+04 N	1.199998 E+04 N	-1.70E-04
Force tangentielle de contact	0. N	-7.484511 E-06 N	-7.48E-06
DX (point A)	1.000 mm	1.004111 E+00 mm	0.411
DY (point A)	-1.732 mm	-1.741004 E+00 mm	0.520
DX (point B)	1.000 mm	1.005698 E+00 mm	0.570
DY (point B)	-1.732 mm	-1.740088 E+00 mm	0.467
<b>Chargement 2</b>			
Force normale de contact	1.200000 E+04 N	1.199979 E+04 N	-1.70E-04
Force tangentielle de contact	-3.564000 E+04 N	-3.563930 E+03 N	-0.002
DX (point A)	1.000 mm	1.025709 E+00 mm	-2.571
DY (point A)	-1.732 mm	-1.723129 E+00 mm	-0.512
DX (point B)	1.000 mm	1.013353 E+00 mm	1.335
DY (point B)	-1.732 mm	-1.742276 E+00 mm	0.593
<b>Chargement 3</b>			
Force normale de contact	1.200000 E+04 N	1.199998 E+04 N	-1.70E-04
Force tangentielle de contact	-3.624000 E+04 N	-3.599992 E+03 N	-0.662
DX (point A)	8.787 mm	8.807222 E+00 mm	0.150
DY (point A)	2.768 mm	2.769538 E+00 mm	0.056
DX (point B)	8.787 mm	8.793625 E+00 mm	-0.004
DY (point B)	2.768 mm	2.749434 E+00 mm	-0.671

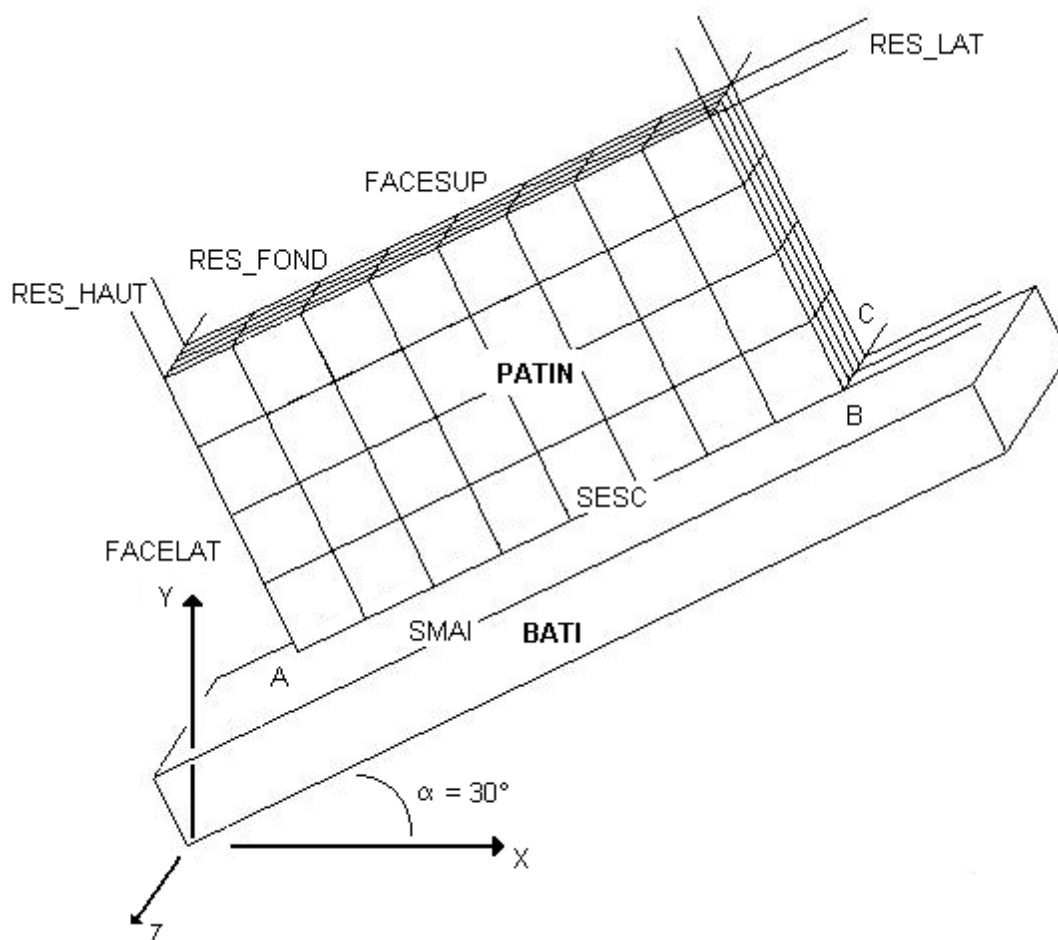
### 10.2 Remarque

Le jeu est défini dans ce cas de manière géométrique. On a la possibilité de le définir via les mots clés « DIST\_1 » et « DIST\_2 ». Après vérification, ce second cas ne change rien au résultat.

## 11 Modélisation E

### 11.1 Caractéristiques de la modélisation

Une modélisation 3D avec des éléments CUB8 testant les fonctionnalités de contact nœud-maille avec frottement traité avec la méthode lagrangienne pour le contact et pénalisée pour le frottement a été mise en œuvre.



Le jeu entre le patin et le bâti est défini par les coordonnées géométriques du maillage.

Pour éviter les mouvements de corps rigide, le patin est maintenu par des ressorts de rigidité faible :

RES\_LAT :  $k = 1$  N/mm  
RES\_FOND :  $k = 1$  N/mm  
RES\_HAUT :  $k = 20$  N/mm

Conditions aux limites :

Extrémité libre des ressorts :  $DX=DY=DZ=0$ .

Bâti :  $DX=DY=DZ=0$ .

### 11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 269

Nombre et type de mailles : 129 CUB8, 103 QUAD4

Titre : SSNV503 - Patin glissant sur un plan rigide  
Auteur(s) : N. TARDIEU, B. SERRE

Date : 23/10/02  
Clé : V6.04.503-A Page : 14/24

## 11.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé
MODI_MALLAGE	ORIE_PEAU_3D	
AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION : '3D'
DEFI_MATERIAU	ELAS	
AFFE_CHAR_MECA	CONTACT	APPARIEMENT : 'MAIT_ESCL' RECHERCHE : 'NŒUD_BOUCLE' METHODE : 'PENALISATION' E_T : 1.E+06 FROTTEMENT : 'COULOMB' COULOMB : 0.3 COEF_MATR_FROT : 0.9
STAT_NON_LINE	COMP_ELAS	RELATION : 'ELAS'

## 12 Résultats de la modélisation E

### 12.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
<b>Chargement 1</b>			
Force normale de contact	2.0784 E+05 N	2.078391 E+05 N	-4.05E-04
Force tangentielle de contact	-1.2000 E+05 N	-1.199959 E+05 N	-0.003E-06
DX (point A)	1.000 mm	9.999999 E-01 mm	-3.33E-06
DY (point A)	-1.732 mm	-1.731051 E+00 mm	0.003
DX (point B)	1.000 mm	1.000001 E+00 mm	3.32E-06
DY (point B)	-1.732 mm	-1.731051 E+00 mm	0.003
DX (point C)	1.000 mm	1.000001 E+00 mm	3.32E-06
DY (point C)	-1.732 mm	-1.731051 E+00 mm	0.003
DX (point D)	1.000 mm	9.999999 E-01 mm	-3.33E-06
DY (point D)	-1.732 mm	-1.731051 E+00 mm	0.003
<b>Chargement 2</b>			
Force normale de contact	1.7220 E+05 N	1.721992 E+05 N	-4.12E-04
Force tangentielle de contact	-1.8173 E+05 N	-1.817260 E+05 N	-0.002
DX (point A)	1.000 mm	1.004172 E+00 mm	0.417
DY (point A)	-1.732 mm	-1.729642 E+00 mm	-0.136
DX (point B)	1.000 mm	1.002000 E+00 mm	0.200
DY (point B)	-1.732 mm	-1.730896 E+00 mm	-0.064
DX (point C)	1.000 mm	1.002000 E+00 mm	0.200
DY (point C)	-1.732 mm	-1.730896 E+00 mm	-0.064
DX (point D)	1.000 mm	1.004172 E+00 mm	0.417
DY (point D)	-1.732 mm	-1.729642 E+00 mm	-0.136
<b>Chargement 3</b>			
Force normale de contact	1.714896 E+05 N	1.718404 E+04 N	0.207
Force tangentielle de contact	-1.829770 E+05 N	-1.823477 E+05 N	-0.344
DX (point A)	8.79 mm	8.821717 E+00 mm	0.315
DY (point A)	2.77 mm	2.783820 E+00 mm	0.572
DX (point B)	8.79 mm	8.819386 E+00 mm	0.289
DY (point B)	2.77 mm	2.782474 E+00 mm	0.523
DX (point C)	8.79 mm	8.819386 E+00 mm	0.289
DY (point C)	2.77 mm	2.782474 E+00 mm	0.523
DX (point D)	8.79 mm	8.821717 E+00 mm	0.315
DY (point D)	2.77 mm	2.783820 E+00 mm	0.572

## 12.2 Remarques

- Le jeu est défini dans ce cas de manière géométrique, les résultats sont identiques à ceux trouvés dans la modélisation précédente.
- Les pressions normale et tangentielle au niveau de la zone de contact sont vérifiées en testant la force globale de contact dans le sens normal et tangentiel :

$$F_n^{CTAC} = p_n S_{DC} = 300 \times 40 \times 20 = 240000 \text{ N}$$

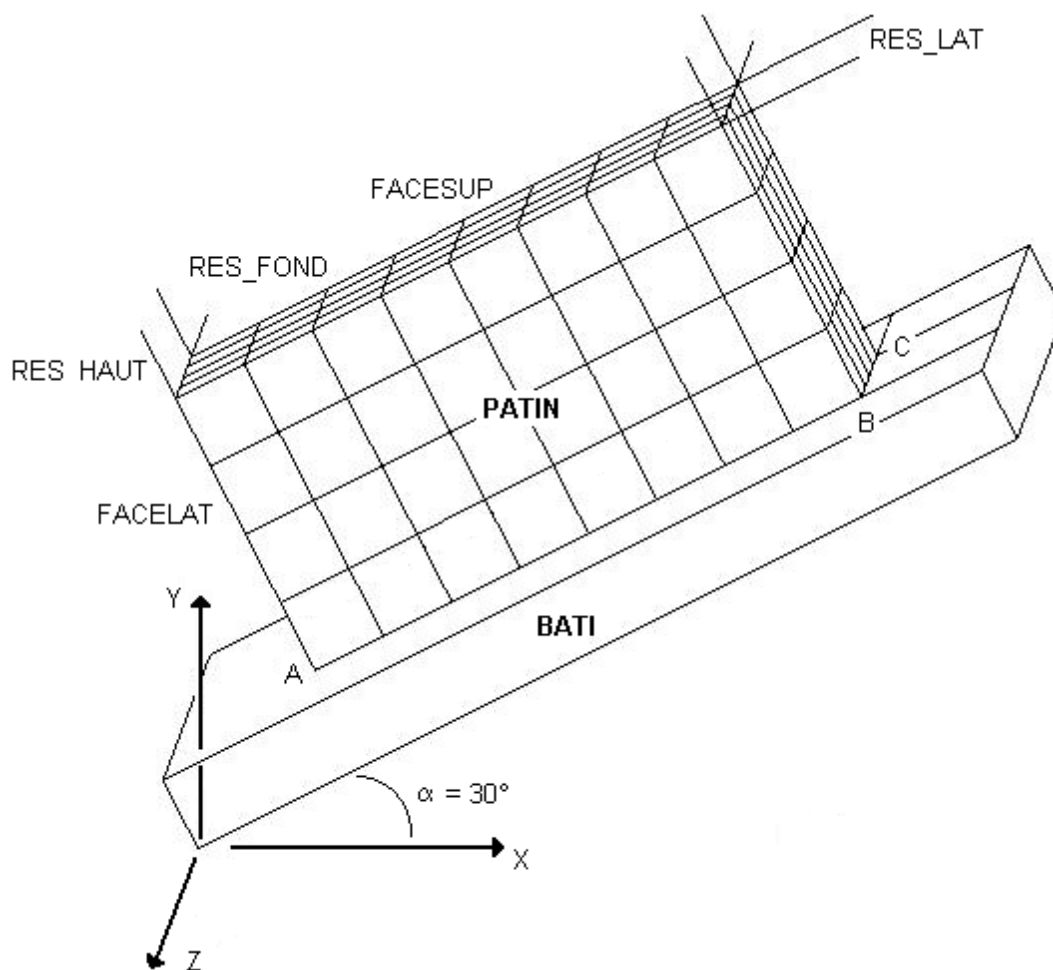
$$F_t^{CTAC} = p_t S_{AD} = 178.2 \times 20 \times 20 = 71280 \text{ N (Chargement 2)}$$

$$F_t^{CTAC} = p_t S_{AD} = 181.8 \times 20 \times 20 = 72720 \text{ N (Chargement 3)}$$

## 13 Modélisation F

### 13.1 Caractéristiques de la modélisation

Une modélisation 3D avec des éléments CUB8 testant les fonctionnalités de contact nœud-maille avec frottement traité avec la méthode lagrangienne pour le contact et pénalisée pour le frottement a été mise en œuvre.



Le jeu entre le patin et le bâti est défini par la fonction à l'aide du mot clé « DIST\_2 ».

Pour éviter les mouvements de corps rigide, le patin est maintenu par des ressorts de rigidité faible :

RES\_LAT :  $k = 1 \text{ N/mm}$   
RES\_FOND :  $k = 1 \text{ N/mm}$   
RES\_HAUT :  $k = 20 \text{ N/mm}$

Conditions aux limites :

Extrémité libre des ressorts :  $DX=DY=DZ=0$ .

Bâti :  $DX=DY=DZ=0$ .

### 13.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 269

Nombre et types de mailles : 129 CUB8, 103 QUAD4



### 13.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé
MODI_MALLAGE	ORIE_PEAU_3D	
AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION : '3D'
DEFI_MATERIAU	ELAS	
AFFE_CHAR_MECA	CONTACT	APPARIEMENT : 'MAIT_ESCL' RECHERCHE : 'NEUD_BOUCLE' METHODE : 'PENALISATION' E_T : 1.E+06 FROTTEMENT : 'COULOMB' COULOMB : 0.3 COEF_MATR_FROT : 0.9 DIST_2 : '-2.'
STAT_NON_LINE	COMP_ELAS	RELATION : 'ELAS'

## 14 Résultats de la modélisation F

### 14.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
<b>Chargement 1</b>			
Force normale de contact	2.0784 E+05 N	2.078391 E+05 N	-4.05E-04
Force tangentielle de contact	-1.2000 E+05 N	-1.199959 E+05 N	-0.003E-06
DX (point A)	1.000 mm	9.999999 E-01 mm	-3.33E-06
DY (point A)	-1.732 mm	-1.731051 E+00 mm	0.003
DX (point B)	1.000 mm	1.000001 E+00 mm	3.32E-06
DY (point B)	-1.732 mm	-1.731051 E+00 mm	0.003
DX (point C)	1.000 mm	1.000001 E+00 mm	3.32E-06
DY (point C)	-1.732 mm	-1.731051 E+00 mm	0.003
DX (point D)	1.000 mm	9.999999 E-01 mm	-3.33E-06
DY (point D)	-1.732 mm	-1.731051 E+00 mm	0.003
<b>Chargement 2</b>			
Force normale de contact	1.7220 E+05 N	1.721992 E+05 N	-4.12E-04
Force tangentielle de contact	-1.8173 E+05 N	-1.817260 E+05 N	-0.002
DX (point A)	1.000 mm	1.004172 E+00 mm	0.417
DY (point A)	-1.732 mm	-1.729642 E+00 mm	-0.136
DX (point B)	1.000 mm	1.002000 E+00 mm	0.200
DY (point B)	-1.732 mm	-1.730896 E+00 mm	-0.064
DX (point C)	1.000 mm	1.002000 E+00 mm	0.200
DY (point C)	-1.732 mm	-1.730896 E+00 mm	-0.064
DX (point D)	1.000 mm	1.004172 E+00 mm	0.417
DY (point D)	-1.732 mm	-1.729642 E+00 mm	-0.136
<b>Chargement 3</b>			
Force normale de contact	1.714896 E+05 N	1.718404 E+04 N	0.207
Force tangentielle de contact	-1.829770 E+05 N	-1.823477 E+05 N	-0.344
DX (point A)	8.79 mm	8.821717 E+00 mm	0.315
DY (point A)	2.77 mm	2.783820 E+00 mm	0.572
DX (point B)	8.79 mm	8.819386 E+00 mm	0.289
DY (point B)	2.77 mm	2.782474 E+00 mm	0.523
DX (point C)	8.79 mm	8.819386 E+00 mm	0.289
DY (point C)	2.77 mm	2.782474 E+00 mm	0.523
DX (point D)	8.79 mm	8.821717 E+00 mm	0.315
DY (point D)	2.77 mm	2.783820 E+00 mm	0.572

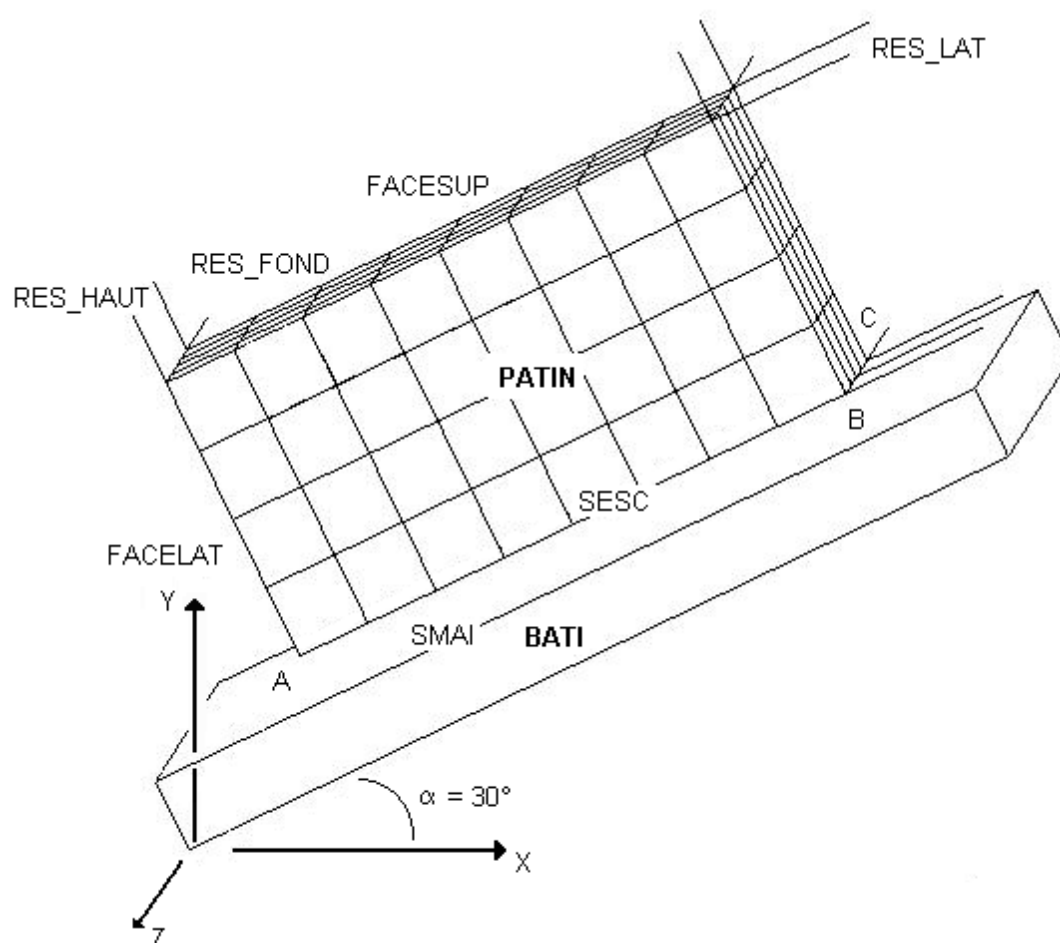
## 14.2 Remarque

Dans cette modélisation, le jeu est défini à l'aide d'une fonction, les résultats sont identiques à ceux trouvés dans la modélisation précédente.

# 15 Modélisation G

## 15.1 Caractéristiques de la modélisation

Une modélisation 3D avec des éléments CUB8 testant les fonctionnalités de contact nœud-maille avec frottement traité avec la méthode pénalisée pour le contact et le frottement a été mise en œuvre.



Le jeu entre le patin et le bâti est défini par les coordonnées géométriques du maillage.

Pour éviter les mouvements de corps rigide, le patin est maintenu par des ressorts de rigidité faible :

RES\_LAT :  $k = 1 \text{ N/mm}$   
RES\_FOND :  $k = 1 \text{ N/mm}$   
RES\_HAUT :  $k = 20 \text{ N/mm}$

Conditions aux limites :

Extrémité libre des ressorts :  $DX=DY=DZ=0$ .  
Bâti :  $DX=DY=DZ=0$ .

## 15.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 269

Nombre et types de mailles : 129 CUB8, 103 QUAD4

## 15.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé
MODI_MALLAGE	ORIE_PEAU_3D	
AFFE_MODELE	AFFE	MODELISATION : '3D'
DEFI_MATERIAU	ELAS	
AFFE_CHAR_MECA	CONTACT	APPARIEMENT : 'MAIT_ESCL' RECHERCHE : 'NŒUD_BOUCLE' METHODE : 'PENALISATION' E_T : 1.E+06 E_N : 1.E+06 FROTTEMENT : 'COULOMB' COULOMB : 0.3 COEF_MATR_FROT : 0.9
STAT_NON_LINE	COMP_ELAS	RELATION : 'ELAS'

## 16 Résultats de la modélisation G

### 16.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
<b>Chargement 1</b>			
Force normale de contact	2.0784 E+05 N	2.078391 E+05 N	-4.12E-04
Force tangentielle de contact	-1.2000 E+05 N	-1.199959 E+05 N	-0.003
DX (point A)	1.000 mm	1.001612 E+00 mm	0.161
DY (point A)	-1.732 mm	-1.735714 E+00 mm	0.214
DX (point B)	1.000 mm	1.002367 E+00 mm	0.237
DY (point B)	-1.732 mm	-1.735279 E+00 mm	0.189
DX (point C)	1.000 mm	1.002367 E+00 mm	0.237
DY (point C)	-1.732 mm	-1.735279 E+00 mm	0.189
DX (point D)	1.000 mm	1.001612 E+00 mm	0.161
DY (point D)	-1.732 mm	-1.735714 E+00 mm	0.214
<b>Chargement 2</b>			
Force normale de contact	1.7220 E+05 N	1.721992 E+05 N	-4.12E-04
Force tangentielle de contact	-1.8173 E+05 N	-1.817260 E+05 N	-0.002
DX (point A)	1.000 mm	1.004302 E+00 mm	0.430
DY (point A)	-1.732 mm	-1.732257 E+00 mm	0.015
DX (point B)	1.000 mm	1.004636 E+00 mm	0.464
DY (point B)	-1.732 mm	-1.736183 E+00 mm	0.242
DX (point C)	1.000 mm	1.004636 E+00 mm	0.464
DY (point C)	-1.732 mm	-1.736183 E+00 mm	0.242
DX (point D)	1.000 mm	1.004302 E+00 mm	0.430
DY (point D)	-1.732 mm	-1.732257 E+00 mm	0.015
<b>Chargement 3</b>			
Force normale de contact	1.714896 E+05 N	1.718404 E+04 N	0.207
Force tangentielle de contact	-1.829770 E+05 N	-1.823477 E+05 N	-0.344
DX (point A)	8.79 mm	8.821530 E+00 mm	0.313
DY (point A)	2.77 mm	2.781029 E+00 mm	0.471
DX (point B)	8.79 mm	8.821622 E+00 mm	0.314
DY (point B)	2.77 mm	2.776938 E+00 mm	0.323
DX (point C)	8.79 mm	8.821622 E+00 mm	0.314
DY (point C)	2.77 mm	2.776938 E+00 mm	0.323
DX (point D)	8.79 mm	8.821530 E+00 mm	0.313
DY (point D)	2.77 mm	2.781029 E+00 mm	0.471

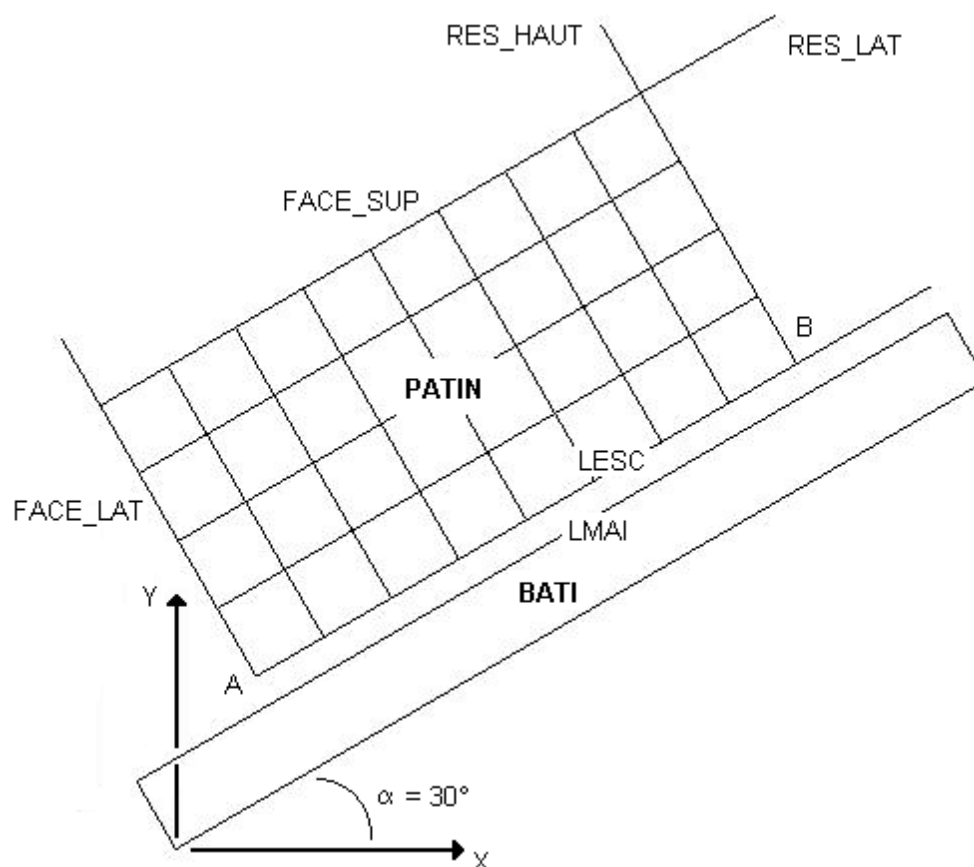
### 16.2 Remarque

Le jeu est défini dans ce cas de manière géométrique. Les résultats sont moins bons que ceux obtenus avec la pénalisation seulement sur le frottement. De plus, cette méthode est plus longue.

## 17 Modélisation H

### 17.1 Caractéristiques de la modélisation

Une modélisation « D\_PLAN » avec des éléments QUAD4 testant les fonctionnalités de contact nœud-maître avec frottement traité avec la méthode continue pour le contact et le frottement a été mise en œuvre.



Le jeu entre le patin et le bâti est défini par les coordonnées géométriques du maillage.

Pour éviter les mouvements de corps rigide, le patin est maintenu par des ressorts de rigidité faible :

RES\_LAT :  $k = 2 \text{ N/mm}$

RES\_HAUT :  $k = 0,005 \text{ N/mm}$

Conditions aux limites :

Extrémité libre des ressorts :  $DX=DY=0$ .

Bâti :  $DX=DY=0$ .

### 17.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 53

Nombre et types de mailles : 33 QUAD4, 32 SEG2

## 17.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé
MODI_MALLAGE	ORIE_PEAU_2D	
AFPE_MODELE	AFPE	MODELISATION : 'D_PLAN'
DEFI_MATERIAU	ELAS	
AFPE_CHAR_MECA	CONTACT	APPARIEMENT : 'MAIT_ESCL' RECHERCHE : 'NŒUD_BOUCLE' METHODE : 'CONTINUE' COEF_REGU_CONT : 1.E+02 COEF_REGU_FROT : 1.E+02 FROTTEMENT : 'COULOMB' COULOMB : 0.3 COEF_MATR_FROT : 0.9 ITER_CONT_MAXI : 30 ITER_FROT_MAXI : 2 ITER_GEOM_MAXI : 1 INTEGRATION : 'NOEUD'
STAT_NON_LINE	COMP_ELAS	RELATION : 'ELAS'

## 18 Résultats de la modélisation H

### 18.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
<b>Chargement 1</b>			
Force normale de contact	1.200000 E+04 N	1.199998 E+04 N	-1.70E-04
Force tangentielle de contact	0. N	-2.20752 E-06 N	-2.21E-07
DX (point A)	1.000 mm	1.00000 E+00 mm	0.0
DY (point A)	-1.732 mm	-1.73205 E+00 mm	0.003
DX (point B)	1.000 mm	1.00000 E+00 mm	0.0
DY (point B)	-1.732 mm	-1.73205 E+00 mm	0.003
<b>Chargement 2</b>			
Force normale de contact	1.200000 E+04 N	1.199979 E+04 N	-1.70E-04
Force tangentielle de contact	-3.564000 E+04 N	-3.563961 E+03 N	-0.001
DX (point A)	1.000 mm	1.021308 E+00 mm	-2.131
DY (point A)	-1.732 mm	-1.719748 E+00 mm	-0.707
DX (point B)	1.000 mm	1.000000 E+00 mm	0.0
DY (point B)	-1.732 mm	-1.7320508 E+00 mm	0.003
<b>Chargement 3</b>			
Force normale de contact	1.200000 E+04 N	1.199998 E+04 N	-1.70E-04
Force tangentielle de contact	-3.624000 E+04 N	-3.599992 E+03 N	-0.662
DX (point A)	8.787 mm	8.809505 E+00 mm	0.256
DY (point A)	2.768 mm	2.7767695 E+00 mm	0.317
DX (point B)	8.787 mm	8.7869527 E+00 mm	-0.180
DY (point B)	2.768 mm	2.7637484 E+00 mm	-5.15 E-04

## 19 Synthèse des résultats

Quelles que soit la modélisation (2D ou 3D) et la méthode de traitement du contact-frottement, les résultats obtenus sont satisfaisants. Ils sont très proches des résultats analytiques.