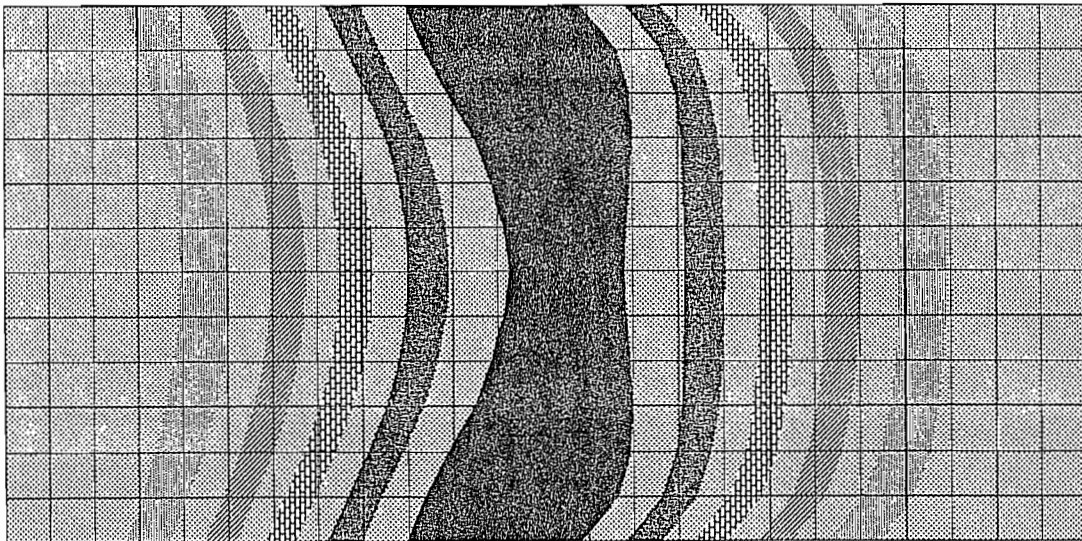


Université de Liège - Février 1996

Etude de faisabilité numérique de l'usinage

Catalogue des cas-tests



Groupe de travail : Pierre Beckers
Jean-François Debongnie
Béatrice Deltour
Luc Masset

- Table des matières -

I. Introduction	1
II. Présentation des pièces	2
1. Plaque sur deux appuis	2
1.1. Données du problème	2
1.1.1. Géométrie de la pièce et choix des axes	2
1.1.2. Caractéristiques techniques du matériau	2
1.2. Maillage	3
1.3. Types d'usinages effectués	3
2. Eprouvette cylindrique	4
2.1. Données du problème	4
2.1.1. Géométrie de la pièce et choix des axes	4
2.1.2. Caractéristiques techniques du matériau	4
2.2. Maillage	5
2.3. Type d'usinage effectué	5
3. Baladeur 3/4 JB	6
3.1. Données du problème	6
3.1.1. Géométrie de la pièce et choix des axes	6
3.1.2. Caractéristiques techniques du matériau	7
3.2. Maillage	7
3.3. Types d'usinages effectués	7
III. Fraisage en bout	8
1. Données du problème	8
1.1. Géométrie et maillage de la pièce	8
1.2. Description de l'outil	8
1.3. Paramètres d'usinage	9
1.4. Trajectoire de l'outil	9
1.5. Bridage de la pièce	9
2. Traitement informatique du problème	10
2.0. Modification de la base de données matériau	10
Entrée des caractéristiques du matériau	10
2.1. Interface	10
Entrée des données du problème	10
2.2. Préparation (prétraitement)	11
2.3. Calcul des efforts de coupe	11
2.4. Passage par NASTRAN	12
2.5. Post-processeur	12
Choix de la combinaison du défaut	12
3. Analyse des résultats	13

IV. Tournage cylindrique	16
1. Données du problème	16
1.1. Géométrie et maillage de la pièce	16
1.2. Description de l'outil	16
1.3. Paramètres d'usinage	17
1.4. Trajectoire de l'outil	17
1.5. Bridage de la pièce	17
2. Traitement informatique du problème	19
2.1. Interface	19
Entrée des données du problème	19
2.2. Préparation (prétraitement)	20
2.3. Calcul des efforts de coupe	20
2.4. Passage par NASTRAN	20
2.5. Post-processeur	21
Choix de la combinaison du défaut	21
3. Analyse des résultats	22
3.1. Résultats obtenus ($k = 3000 \text{ N/mm}$)	22
3.2. Influence de la raideur de la contre-pointe	24
3.2.1. Résultats obtenus pour différentes valeurs de la raideur	24
3.2.2. Comparaison avec les résultats analytiques	25
V. Dressage au tour	29
1. Données du problème	29
1.1. Géométrie et maillage de la pièce	29
1.2. Description de l'outil	29
1.3. Paramètres d'usinage	30
1.4. Trajectoire de l'outil	30
1.5. Bridage de la pièce	30
2. Traitement informatique du problème	31
2.0. Modification de la base de données matériau	31
Entrée des caractéristiques du matériau	31
2.1. Interface	31
Entrée des données du problème	31
2.2. Préparation (prétraitement)	32
2.3. Calcul des efforts de coupe	32
2.4. Passage par NASTRAN	33
2.5. Post-processeur	33
Choix de la combinaison du défaut	33
3. Analyse des résultats	34

VI. Alésage à l'alésoir	36
1. Données du problème	36
1.1. Géométrie et maillage de la pièce	36
1.2. Description de l'outil	36
1.3. Paramètres d'usinage	37
1.4. Trajectoire de l'outil	37
1.5. Bridage de la pièce	37
2. Traitement informatique du problème	38
2.1. Interface	38
Entrée des données du problème	38
2.2. Préparation (prétraitement)	39
2.3. Calcul des efforts de coupe	39
2.4. Passage par NASTRAN	39
2.5. Post-processeur	40
Choix de la combinaison du défaut	40
3. Analyse des résultats	40
VII. Brochage intérieur	42
1. Données du problème	42
1.1. Géométrie et maillage de la pièce	42
1.2. Description de l'outil	42
1.3. Paramètres d'usinage	42
1.4. Trajectoire de l'outil	43
1.5. Bridage de la pièce	43
2. Traitement informatique du problème	44
2.1. Interface	44
Entrée des données du problème	44
2.2. Préparation (prétraitement)	44
2.3. Calcul des efforts de coupe	45
2.4. Passage par NASTRAN	45
2.5. Post-processeur	45
Choix de la combinaison du défaut	46
3. Analyse des résultats	46

VIII. Alésage au grain	48
1. Données du problème	48
1.1. Géométrie et maillage de la pièce	48
1.2. Description de l'outil	48
1.3. Paramètres d'usinage	49
1.4. Trajectoire de l'outil	49
1.5. Bridage de la pièce	49
2. Traitement informatique du problème	50
2.1. Interface	50
Entrée des données du problème	50
2.2. Préparation (prétraitement)	51
2.3. Calcul des efforts de coupe	51
2.4. Passage par NASTRAN	51
2.5. Post-processeur	51
Choix de la combinaison du défaut	52
3. Analyse des résultats	52
Références	54

I. Introduction

Ce catalogue contient des exemples de pièces usinées selon les divers procédés envisagés par SINUS. Les procédures d'utilisation de SINUS ne sont données que brièvement. En effet, ce recueil ne se veut en aucune façon un mode d'emploi de la procédure.

Les pièces étudiées et leurs types d'usinage sont repris dans le tableau ci-dessous :

	Plaque	Eprouvette cylindrique	Baladeur
Fraisage	⊗		
Tournage cylindrique		⊗	
Dressage	⊗		
Alésage à l'alésoir			⊗
Brochage intérieur			⊗
Alésage au grain			⊗

II. Présentation des pièces

1. Plaque sur deux appuis

1.1. Données du problème

1.1.1. Géométrie de la pièce et choix des axes :

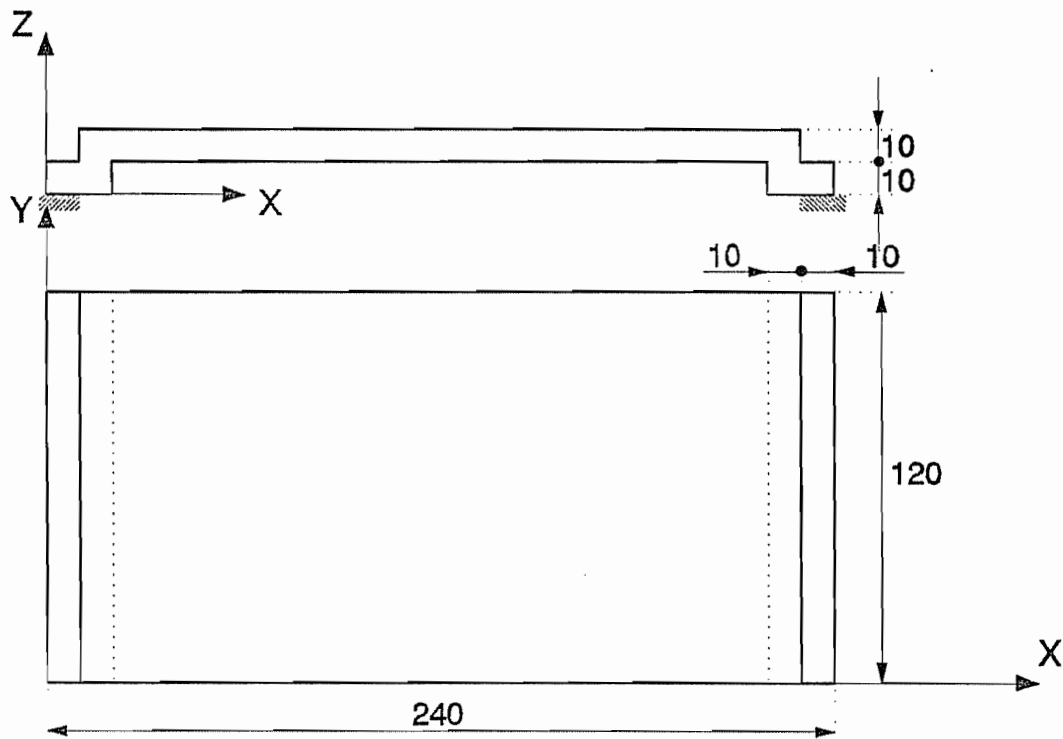


Figure 1 : Géométrie et axes de la plaque sur 2 appuis

1.1.2. Caractéristiques techniques du matériau :

- **Matériau :** acier recuit 38CD4, état T2
 module de Young : $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$
 coefficient de Poisson : $\nu = 0.3$
- **Coefficients utilisés (KÖNIG et ESSEL) :** $k_c = 1743 \text{ MPa}$
 $m_c = 0.2542$
 $k_f = 606 \text{ MPa}$
 $m_f = 0.6398$
 $k_p = 497 \text{ MPa}$
 $m_p = 0.4216$

1.2. Maillage

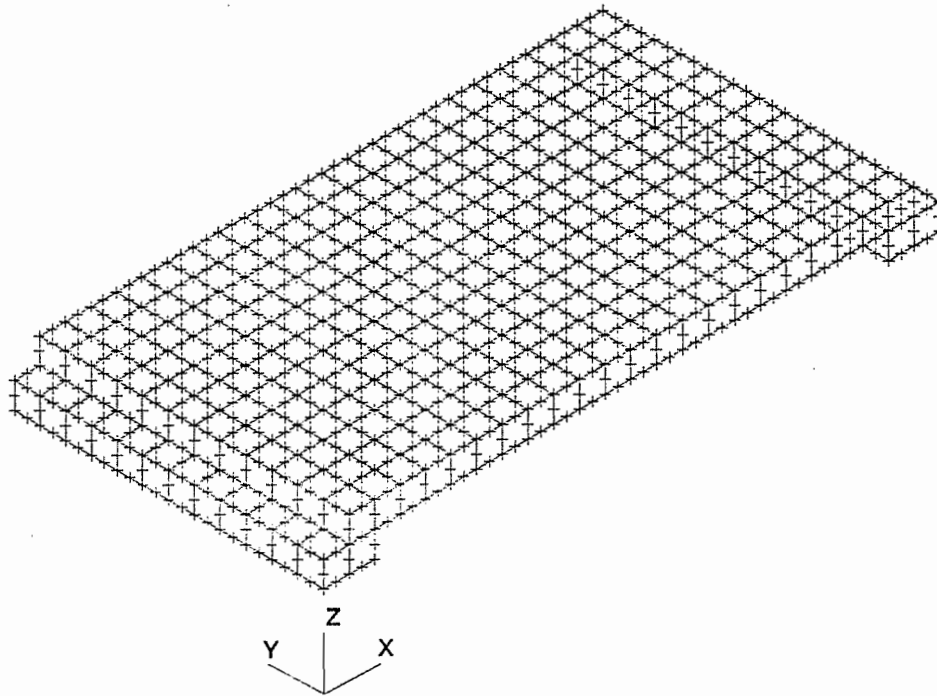


Figure 2 : Maillage de la plaque sur deux appuis

Nombre de noeuds : 2377
Nombre d'éléments : 312
SURF_USINEE_CALCUL : 299 noeuds
SURF_USINEE : 861 noeuds

1.3. Types d'usinages effectués

- fraisage en bout
- dressage au tour

2. Eprouvette cylindrique

2.1. Données du problème

2.1.1. Géométrie de la pièce et choix des axes :

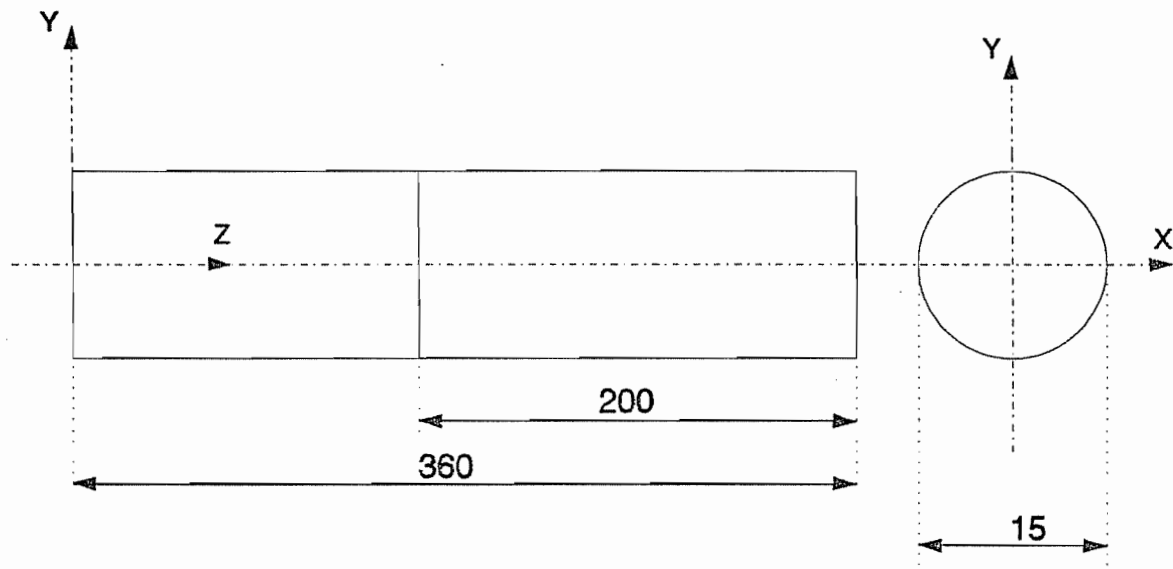


Figure 3 : Géométrie de l'éprouvette cylindrique

2.1.2. Caractéristiques techniques du matériau :

- **Matériau :** acier recuit 32M5R
 module de Young : $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$
 coefficient de Poisson : $\nu = 0.3$
 limite d'élasticité : $R_e = 560 \text{ MPa}$
 limite de rupture : $R_m = 700 \text{ MPa}$
 dureté Brinell : $HB = 215$
- **Coefficients utilisés (KÖNIG et ESSEL) :** $k_e = 1581 \text{ MPa}$
 $m_e = 0.2468$
 $k_f = 317 \text{ MPa}$
 $m_f = 0.6887$
 $k_p = 259 \text{ MPa}$
 $m_p = 0.4130$

2.2. Maillage

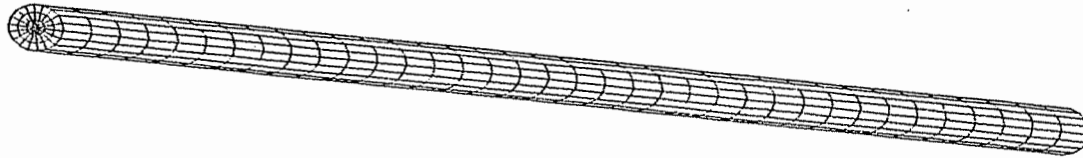


Figure 4 : Maillage de l'éprouvette cylindrique

Nombre de noeuds : 2035

Nombre d'éléments : 1948 dont 648 pentaèdres linéaires
1296 hexaèdres linéaires
et 2 ressorts

SURF_USINEE : 378 noeuds

2

α

2.3. Type d'usinage effectué

- tournage cylindrique

3. Baladeur 3/4 JB

3.1. Données du problème

3.1.1. Géométrie de la pièce et choix des axes :

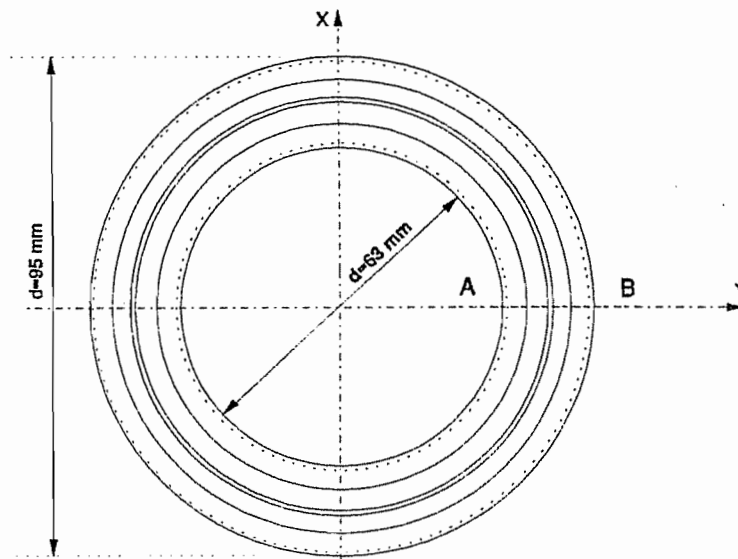


Figure 5 : Géométrie et axes du baladeur (vu de haut)

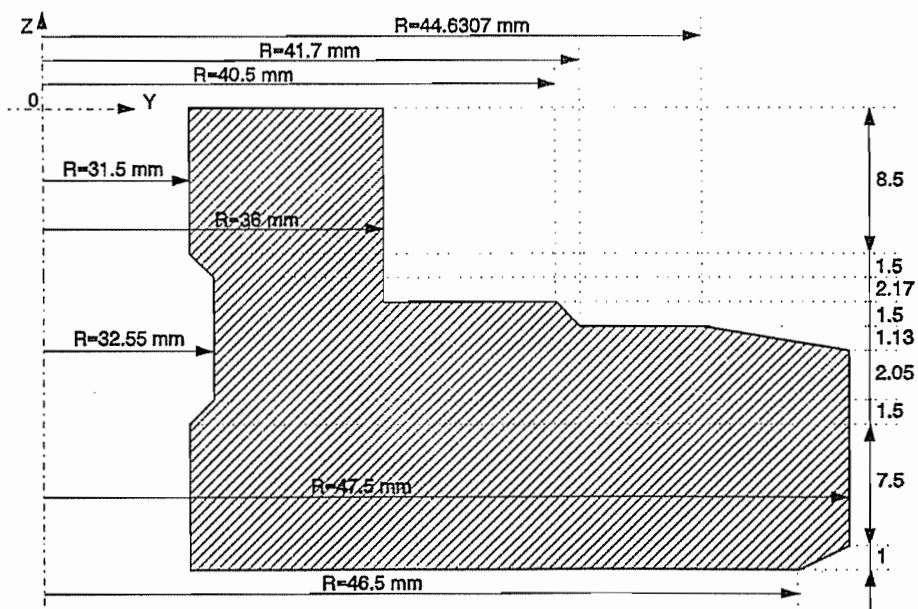


Figure 6 : Coupe A-B du baladeur (demi-section)

3.1.2. Caractéristiques techniques du matériau :

- **Matériau :** acier allié 27CD4
module de Young : $E = 210\,000\text{ N/mm}^2$
coefficient de Poisson : $\nu = 0.3$
limite d'élasticité : $R_e = 440 - 540\text{ MPa}$
limite de rupture : $R_m = 550 - 680\text{ MPa}$
Dureté Brinell : $HB = 166 - 202$
- **Coefficients utilisés (KÖNIG et ESSEL) :** $k_c = 1552\text{ MPa}$
 $m_c = 0.2808$
 $k_f = 337\text{ MPa}$
 $m_f = 0.6810$
 $k_p = 237\text{ MPa}$
 $m_p = 0.6285$

3.2. Maillage

Nombre de noeuds : 10800
Nombre d'éléments : 1980
SURF_USINEE :
315 noeuds
225 mailles
540 côtés

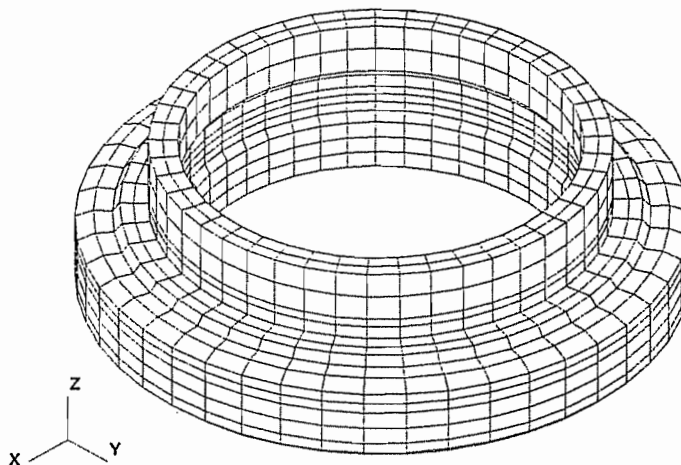


Figure 7 : Maillage du baladeur

3.3. Types d'usinages effectués

- alésage à l'alésoir
- alésage au grain
- brochage intérieur

III. Fraisage en bout

1. Données du problème

1.1. Géométrie et maillage de la pièce

La pièce étudiée en fraisage est la plaque sur deux appuis (II.1), dont la géométrie est rappelée ci-dessous.

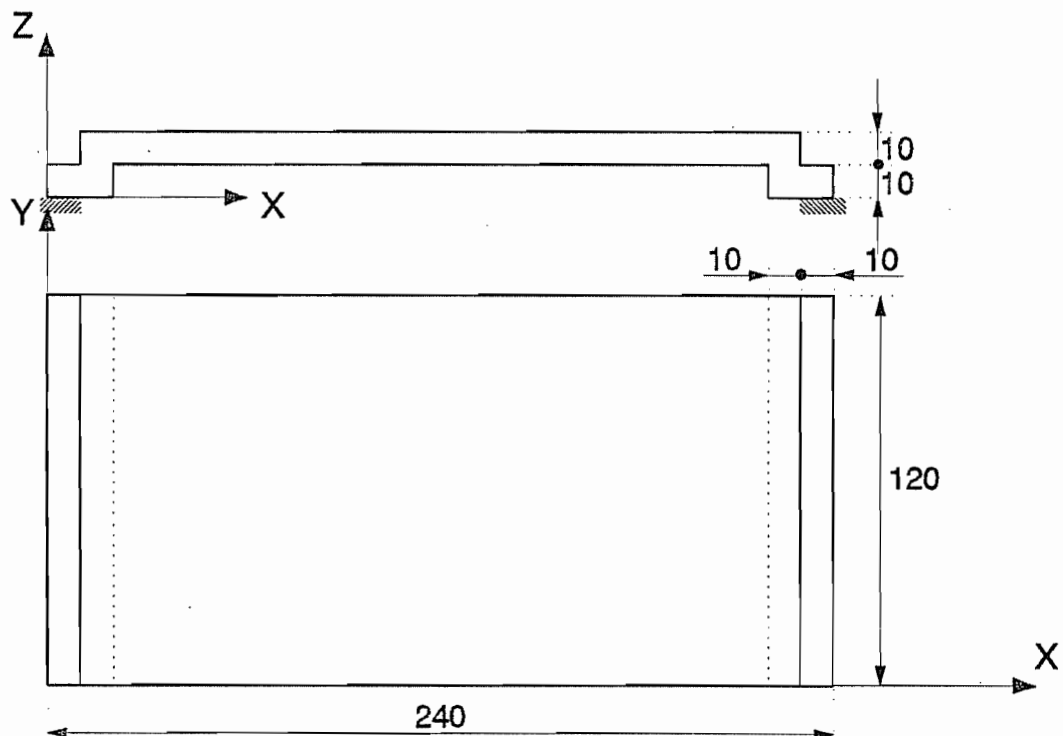


Figure 8 : Géométrie et axes de la plaque sur 2 appuis

1.2. Description de l'outil

fraise

matière de coupe : carbure métallique

diamètre : $d = 140$ mm

nombre de dents : $z = 14$

angle de direction de l'arête principale : $\kappa_r = 75^\circ$

angle de coupe latéral : $\gamma_f = -7^\circ$

angle de coupe vers l'arrière : $\gamma_p = -4^\circ$

angle de dépinçage : $\delta = 0^\circ$

1.3. Paramètres d'usinage

fréquence de rotation : $N = 480$ tr/min
 vitesse d'avance : $v_f = 835$ mm/min
 profondeur de passe : $a = 1$ mm

1.4. Trajectoire de l'outil

rectiligne
 origine : (-70 , 60 , 20)
 extrémité : (240 , 60 , 20)

1.5. Bridage de la pièce

Le montage est hyperstatique (4 points de posage) et se veut peu déformant (serrage en "vis-à-vis"). En pratique, ce bridage a été modélisé en fixant les trois composantes des noeuds situés sur les faces inférieures des semelles ($Z = 0$) en $Y = 0, 5, 10, 230, 235$ et 240 (figure 9). Nous avons utilisé ici l'hypothèse d'un posage parabolique, c'est-à-dire que même les noeuds d'interface des éléments considérés ont été fixés selon toutes leurs composantes. Il y a donc au total 126 noeuds fixés.

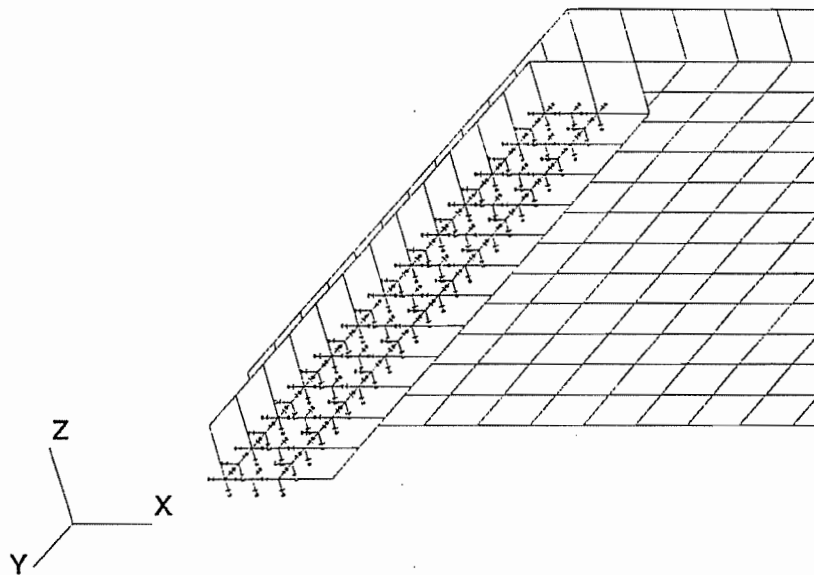


Figure 9 : Bridage parabolique de la plaque (côté gauche)

2. Traitement informatique du problème

La première démarche est de créer une directory dont le nom est celui de la pièce étudiée. Ici, nous prenons : *plaque* .

Cette directory doit **absolument** contenir :

- le fichier **.unv** correspondant à la pièce - ici, *plaque.unv* ;
- le fichier **.dat** pour NASTRAN , de **même nom** - *plaque.dat* .

2.0. Modification de la base de données matériau

Cette procédure permet d'ajouter un nouveau matériau dans la base de données matériau.

Ligne de commande : *mbd*

Entrée des caractéristiques du matériau

Nom du matériau : Ck45(-) (n° 64)

Pressions spécifiques et coefficients d'accroissement :

$k_c = 1743 \text{ MPa}$ $m_c = 0.2542$

$k_f = 606 \text{ MPa}$ $m_f = 0.6398$

$k_p = 497 \text{ MPa}$ $m_p = 0.4216$

Vitesse de coupe : $v_{c0} = 100 \text{ m/min}$

Angle de coupe : $\gamma_{n0} = -6^\circ$

Angle de direction de l'arête principale : $\lambda_{s0} = -6^\circ$

2.1. Interface

Cette procédure permet de créer le fichier de données *fraisage.data* .

Ligne de commande : *int plaque fraisage 0*

Remarque : 0 indique que nous traitons un nouveau problème.

Entrée des données du problème

Type d'usinage : 1 (fraisage en bout)

Matériau : 3 (choisir un matériau)

n° du matériau : 64 (Ck45(-))

correction des pressions spécifiques? Oui
modifier? Non

Outil : matériau : 1 (carbure)

diamètre de la fraise : $d = 140 \text{ mm}$

nombre de dents : $z = 14$

angle de direction d'arête principale : $\kappa_r = 75^\circ$

angle de coupe latéral : $\gamma_f = -7^\circ$

angle de coupe vers l'arrière : $\gamma_p = -4^\circ$

corriger? Non

Trajectoire : coordonnées de l'origine : $(x_{or}, y_{or}) = (-61, 60)$
 coordonnées de l'extrémité : $(x_{ex}, y_{ex}) = (300, 60)$
 type de paramètres d'usinage : 2 (fréquence de rotation et vitesse d'avance)
 fréquence de rotation : $N = 480$ tr/min
 vitesse d'avance : $v_f = 835$ mm/min
 corriger? Non

Profondeur de passe : profondeur de passe : $a = 1$ mm
 corriger? Non

Méthode de résolution : 1 (méthode directe)
 corriger? Non

Paramètres de calcul : forces d'usinage à prendre en compte : 1 ($F_c + F_f + F_p$)
 cas de charge séparés? Oui
 réduction du nombre de cas de charge? Oui
 facteur de réduction : $F_r = 0.001$
 calcul avec les noeuds d'interface? Non
 créer une carte ideas "load sets" pour vérification? Oui
 corriger? Non

2.2. Préparation (prétraitement)

Ligne de commande : *pre plaque fraisage plaque*

Remarque : le 3^{ème} paramètre de la commande correspond au nom du fichier **.unv**.

Cette procédure effectue le décodage du fichier de données .data pour créer un nouveau fichier de nom *fraisage.decod*. De même, elle extrait du fichier .unv toutes les données relatives à la surface usinée; ces données constituent le fichier *plaque.msu*.

La dernière fonction du prétraitement est de calculer le nombre de cas de charge; nous en avons 484 dans ce problème. Ces cas de charge sont repris dans le fichier *fraisage.cdc*.

2.3. Calcul des efforts de coupe

Ligne de commande : *prc plaque fraisage*

Cette procédure effectue le calcul des efforts de coupe pour chacun des cas de charge, et les stocke dans le fichier *fraisage.cha*. Ensuite, elle crée, à partir de ce nouveau fichier, les 3 fichiers à insérer dans *plaque.dat* pour pouvoir calculer les déplacements par NASTRAN. Ces fichiers sont : *fraisage.set*, *fraisage.subcase* et *fraisage.chanas*.

Le fichier *fraisage.rapport* contient les valeurs des résultantes selon chacun des axes structuraux, pour chaque cas de charges distinct. **En régime**, c'est-à-dire lorsque l'arc en prise de la fraise est maximum, nous avons : $RESX = 1201.88$ N $RESY = -1438$ N $RESZ = -704$ N.

Pour terminer, cette procédure complète le fichier pré-existant *plaque.dat* en y ajoutant les commandes permettant d'inclure les 3 nouveaux fichiers : *fraisage.set*, *fraisage.subcase* et *fraisage.chanas*. L'ancienne version de *plaque.dat* est conservée sous le nom de *plaque.old*, ces 2 nouveaux fichiers se trouvant dans la directory *plaque*.

Remarque : Il est indispensable que les fichiers *.dat* et *.unv* portent le même nom, pour que les procédures fonctionnent de manière correcte.

2.4. Passage par NASTRAN

L'étape suivante consiste à faire tourner le code NASTRAN avec *plaque.dat* comme fichier de données. Ce fichier fait appel aux 3 fichiers créés précédemment, pour rappel: *fraisage.set*, *fraisage.subcase* et *fraisage.chanas*.

Les résultats sont alors contenus dans le fichier *plaque.f07*.

2.5. Post-processeur

Ligne de commande : *post plaque fraisage*

Cette procédure commence par décoder le fichier de résultats *plaque.f07*, pour créer un fichier contenant uniquement les pseudo-déplacements, *fraisage.psd*. Ensuite, elle écrit les différents fichiers du défaut d'usinage, qui pourront être traités par GIBUS. Chacun de ces fichiers défaut nécessite une nouvelle utilisation du post-processeur.

Choix de la combinaison du défaut :

-) 12 (DC) : défaut max = 0.31469E-02 au noeud 2365
 défaut min = -0.31469E-02 au noeud 110
 norme du défaut = 0.62938E-02 mm
 fichier créé : *fraisage_1.unv0r*
-) 14 (DF) : défaut max = 0.24065E-02 au noeud 2187
 défaut min = -0.24100E-02 au noeud 114
 norme du défaut = 0.48165E-02 mm
 fichier créé : *fraisage_2.unv0r*
-) 15 (DP) : défaut max = 0.17984E-01 au noeud 2330
 défaut min = 0.00 au noeud 120
 norme du défaut = 0.17984E-01 mm
 fichier créé : *fraisage_3.unv0r*
-) 9 (DC+DF+DP) : défaut max = 0.20762E-01 au noeud 2293
 défaut min = -0.14031E-02 au noeud 116
 norme du défaut = 0.22166E-01 mm
 fichier créé : *fraisage_123.unv0r*
-) 8 (DB) : défaut max = 0.0 au noeud 12
 défaut min = 0.0 au noeud 12
 norme du défaut = 0.0 mm
 fichier créé : *fraisage_0.unv0r*

3. Analyse des résultats

Nous avons repris ci-dessous les valeurs du défaut sur une ligne transversale, située au milieu de la plaque ($X = 120$), pour Y allant de 0 à 120 ($Z = 20$, bien entendu). Ce défaut est ici exprimé en μm . Le défaut dû aux forces de bridage est nul, étant donné qu'il n'y a aucun effort de serrage sur la pièce. Le bridage est uniquement composé de fixations infiniment rigides.

Y	noeud	F_c	F_t	F_r	$F_c+F_t+F_r$
0	2341	3.1200	-0.65106	17.219	19.688
10	2340	2.3488	-0.10197	17.984	20.231
20	2339	1.6764	0.18241	17.792	19.651
30	2338	1.1391	0.33666	17.395	18.870
40	2337	0.70704	0.41959	17.056	18.182
50	2336	0.33939	0.45987	16.836	17.635
60	2335	-0.00000	0.47193	16.757	17.229
70	2334	-0.33940	0.45987	16.836	16.956
80	2333	-0.70704	0.41959	17.056	16.768
90	2332	-1.1391	0.33666	17.395	16.592
100	2331	-1.6764	0.18241	17.792	16.298
110	2330	-2.3488	-0.10197	17.984	15.533
120	109	-3.1200	-0.65107	17.219	13.448

Défaut normal à la surface usinée (en μm)

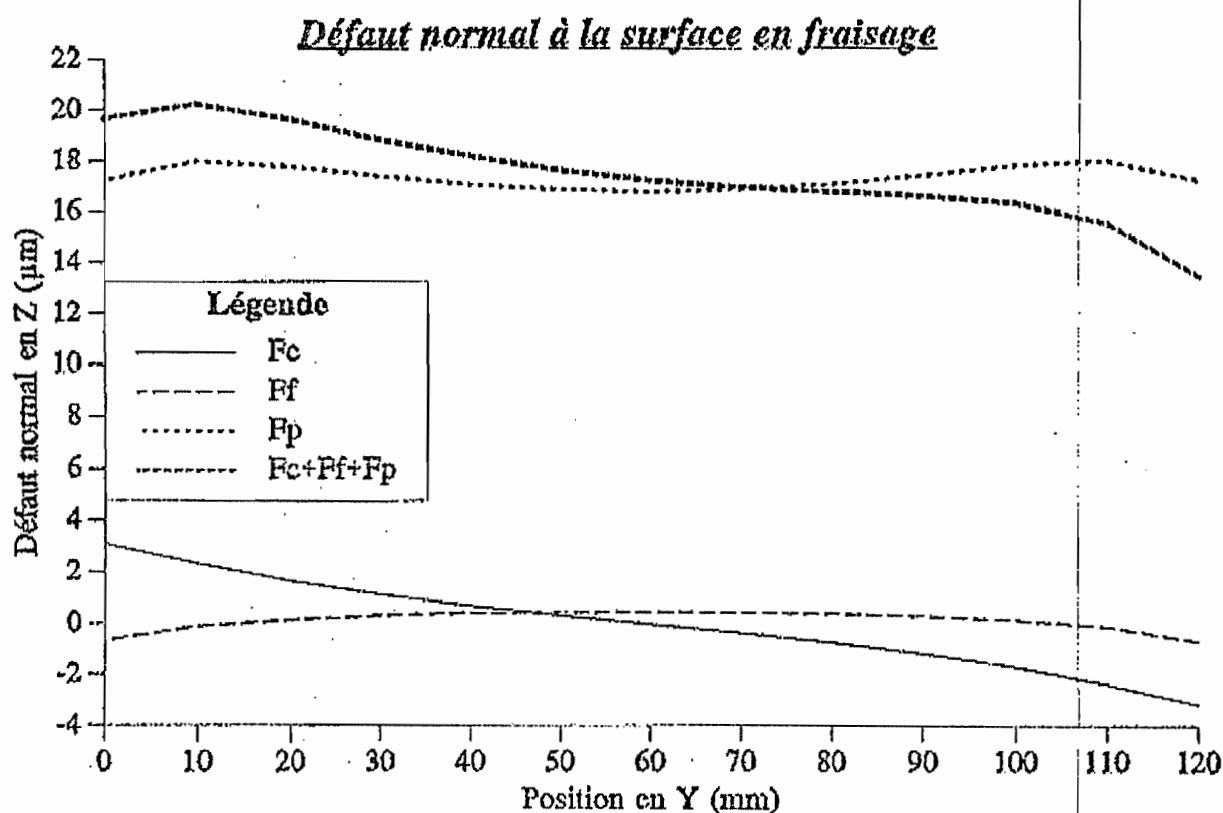


Figure 10 : Défaut normal sur une section transversale de la plaque (en $X=120$)

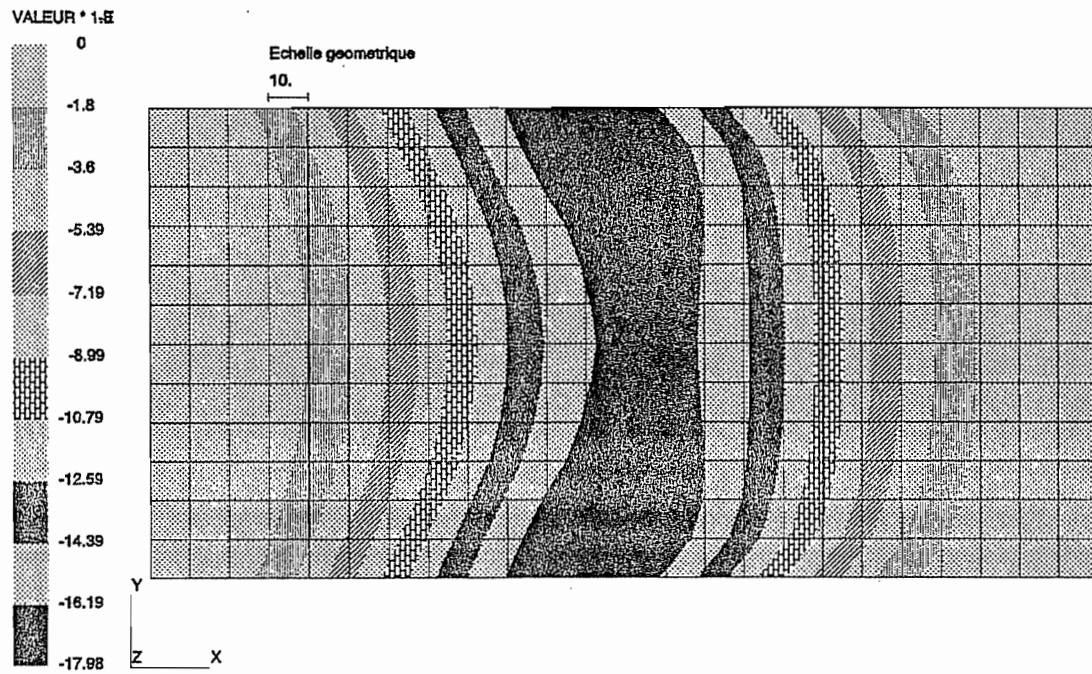


Figure 11 : Visualisation du défaut normal dû à la force passive seule

IV. Tournage cylindrique

1. Données du problème

1.1. Géométrie et maillage de la pièce

La pièce étudiée en tournage est l'éprouvette cylindrique (II.2), dont la géométrie est rappelée ci-dessous.

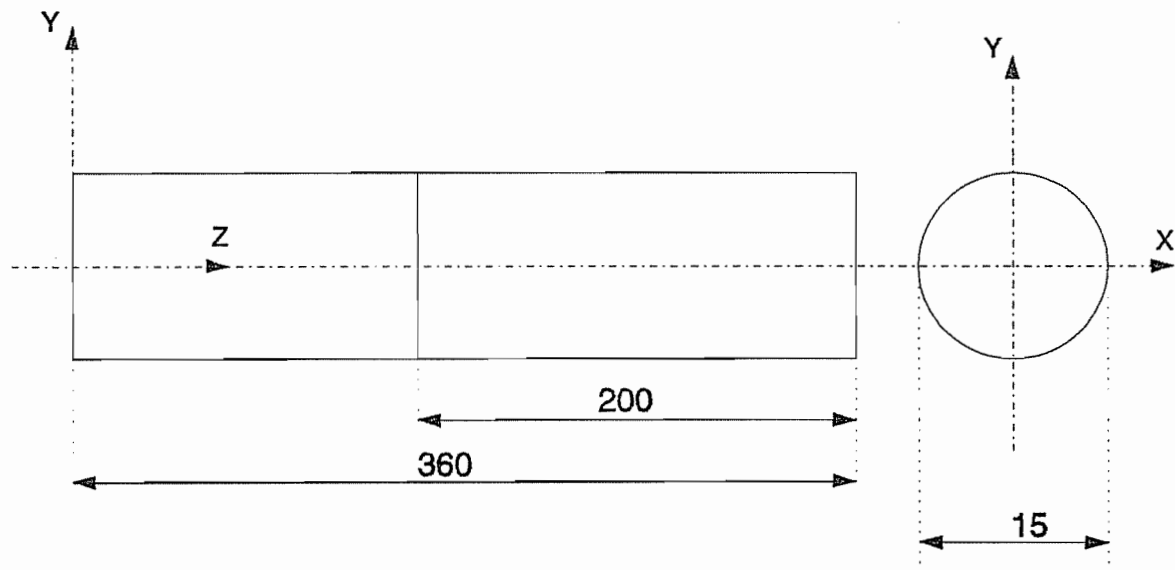


Figure 12 : Géométrie et axes de l'éprouvette cylindrique

1.2. Description de l'outil

outil de tour

matière de coupe : carbure métallique

angle de direction de l'arête principale : $\kappa_r = 65^\circ$

angle d'inclinaison d'arête : $\lambda_s = -6^\circ$

angle de coupe : $\gamma_n = -6^\circ$

1.3. Paramètres d'usinage

fréquence de rotation : $N = 2700$ tr/min

avance : $f = 0.4$ mm/tr

profondeur de passe : $a = 2.5$ mm

1.4. Trajectoire de l'outil

chariotage (rectiligne)

origine : $R = 7.5$ mm , $Z = 360$ mm

extrémité : $R = 7.5$ mm , $Z = 160$ mm

1.5. Bridage de la pièce

Le montage est mixte : serrage à 3 mors en $Z = 0$, et contre-pointe à l'autre extrémité ($Z = 360$).

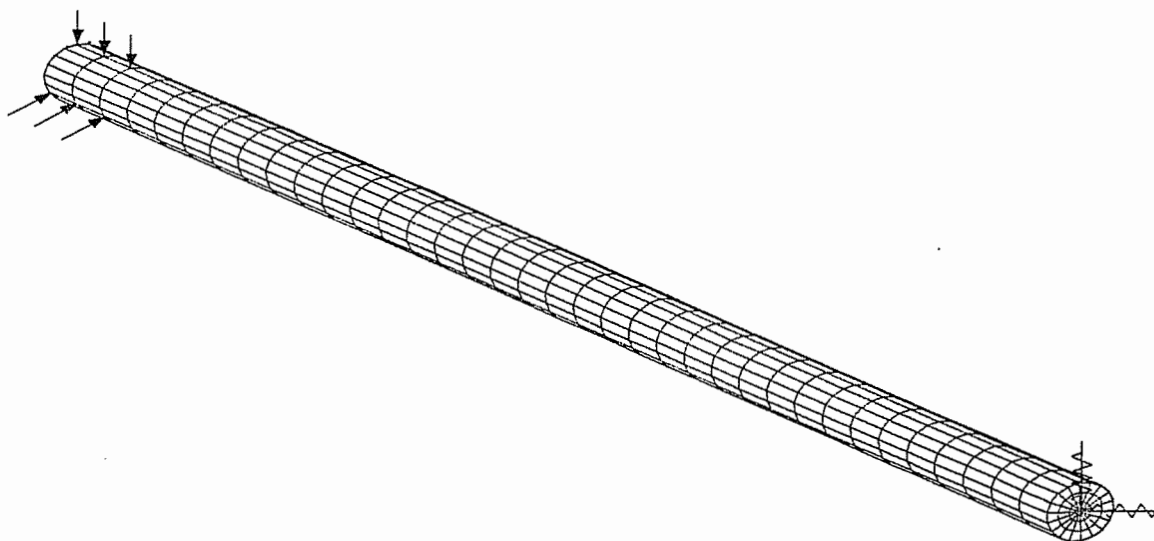


Figure 13 : Bridage de l'éprouvette cylindrique

1.5.1. Modélisation des 3 mors :

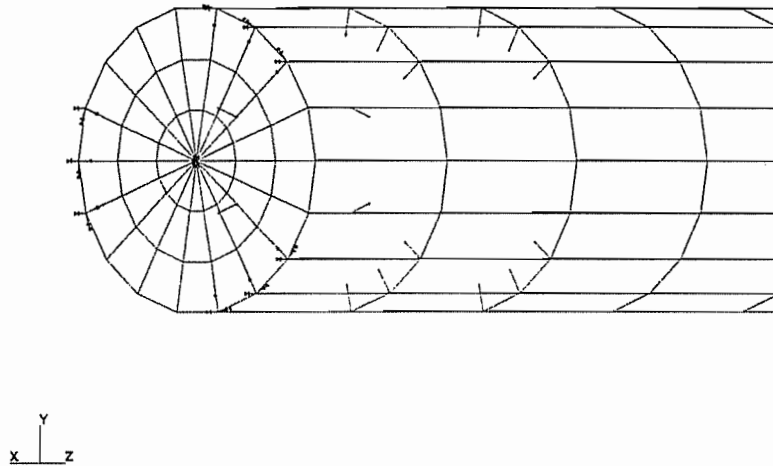


Figure 14 : Modélisation des 3 mors

En pratique, ce bridage a été modélisé en fixant les composantes axiales et tangentielles de 3 groupes (de 3 noeuds) situés à 120° les uns des autres en $Z = 0$ et $R = 7.5 \text{ mm}$, et en chargeant radialement 27 noeuds (représentant les 3 mors) avec une force de 650 N par noeud dirigée vers le centre de l'éprouvette.

1.5.2. Modélisation de la contre-pointe :

La contre-pointe quant à elle est modélisée par 2 ressorts linéaires. Dans un premier temps, la raideur sera prise égale à $k = 3000 \text{ N/mm}$. Ensuite, nous étudierons l'influence de cette raideur en modifiant sa valeur.

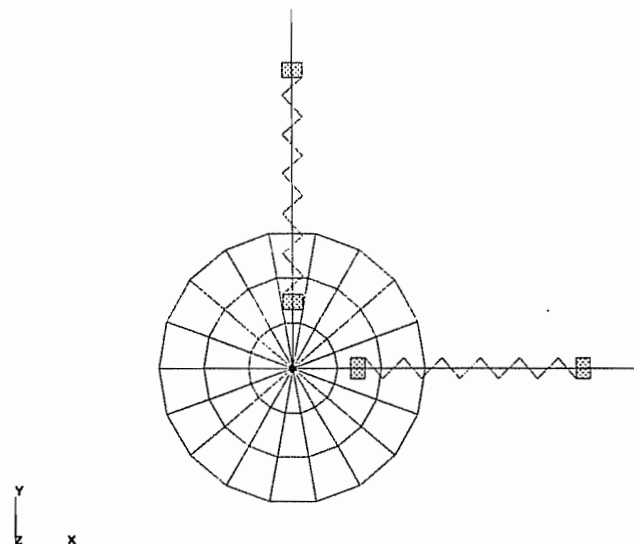


Figure 15 : Modélisation de la contre-pointe

2. Traitement informatique du problème

La première démarche est de créer une directory dont le nom est celui de la pièce étudiée. Ici, nous prenons : *eprouv* .

Cette directory doit **absolument** contenir :

- le fichier **.unv** correspondant à la pièce - ici, *epr_cyl.unv* ;
- le fichier **.dat** pour NASTRAN , de **même nom** - *epr_cyl.dat* .

2.1. Interface

Cette procédure permet de créer le fichier de données *tourcyl.data* .

Ligne de commande : *int eprouv tourcyl 0*

Remarque : *0* indique que nous traitons un nouveau problème.

Entrée des données du problème

Type d'usinage : 2 (tournage cylindrique)

Matériau : 3 (choisir un matériau)

n° du matériau : 18 (37MnSi5G)

correction des pressions spécifiques? Oui
modifier? Non

Outil : matériau : 1 (carbure)

angle de direction d'arête principale : $\kappa_r = 65^\circ$

angle d'inclinaison d'arête de coupe : $\lambda_s = -6^\circ$

angle de coupe : $\gamma_n = -6^\circ$

corriger? Non

Trajectoire : rayon d'usinage : 7.45 mm

coordonnée Z de l'origine : 150 (mm)

coordonnée Z de l'extrémité : 370 (mm)

type de paramètres d'usinage : 2 (fréquence de rotation constante)

fréquence de rotation : $N = 2700$ tr/min

avance par tour : $f = 0.4$ mm/tr

corriger? Non

Profondeur de passe : profondeur de passe : $a = 2.5$ mm

corriger? Non

Méthode de résolution : 1 (méthode directe)

corriger? Non

Paramètres de calcul : forces d'usinage à prendre en compte : 1 ($F_c + F_f + F_p$)

cas de charge séparés? Oui

calcul avec les noeuds d'interface? Non

créer une carte ideas "load sets" pour vérification? Oui

corriger? Non

2.2. Préparation (prétraitement)

Ligne de commande : *pre eprouv tourcyl epr_cyl*

Remarque : le 3^{ème} paramètre de la commande correspond au nom du fichier *.unv* .

Cette procédure effectue le décodage du fichier de données *.data* pour créer un nouveau fichier de nom *tourcyl.decod* . De même, elle extrait du fichier *.unv* toutes les données relatives à la surface usinée; ces données constituent le fichier *epr_cyl.msu*.

La dernière fonction du prétraitement est de calculer le nombre de cas de charge; nous en avons 1135 dans ce problème. Ces cas de charge sont repris dans le fichier *tourcyl.cdc*.

2.3. Calcul des efforts de coupe

Ligne de commande : *prc eprouv tourcyl*

Cette procédure effectue le calcul des efforts de coupe pour chacun des cas de charge, et les stocke dans le fichier *tourcyl.cha* . Ensuite, elle crée, à partir de ce nouveau fichier, les 3 fichiers à insérer dans *epr_cyl.dat* pour pouvoir calculer les déplacements par NASTRAN. Ces fichiers sont : *tourcyl.set* , *tourcyl.subcase* et *tourcyl.chanas* .

Les forces obtenues pour ce problème valent :

$$\begin{aligned} F_c &= 6588.959 \text{ N.} \\ F_r &= 1981.163 \text{ N.} \\ F_p &= 1295.766 \text{ N.} \end{aligned}$$

Pour terminer, cette procédure complète le fichier pré-existant *epr_cyl.dat* en y ajoutant les commandes permettant d'inclure les 3 nouveaux fichiers : *tourcyl.set* , *tourcyl.subcase* et *tourcyl.chanas* . L'ancienne version de *epr_cyl.dat* est conservée sous le nom de *epr_cyl.old*, ces 2 nouveaux fichiers se trouvant dans la directory *eprouv* .

Remarque : Il est indispensable que les fichiers *.dat* et *.unv* portent le même nom, pour que les procédures fonctionnent de manière correcte.

2.4. Passage par NASTRAN

L'étape suivante consiste à faire tourner le code NASTRAN avec *epr_cyl.dat* comme fichier de données. Ce fichier fait appel aux 3 fichiers créés précédemment, pour rappel: *tourcyl.set* , *tourcyl.subcase* et *tourcyl.chanas* .

Les résultats sont alors contenus dans le fichier *epr_cyl.f07* .

2.5. Post-processeur

Ligne de commande : *post eprouv tourcyl*

Cette procédure commence par décoder le fichier de résultats *epr_cyl.f07* pour créer un fichier contenant uniquement les pseudo-déplacements, *tourcyl.psd*. Ensuite, elle crée les différents fichiers du défaut d'usinage, qui pourront être traités par GIBUS. Chacun de ces fichiers défaut nécessite une nouvelle utilisation du post-processeur.

Choix de la combinaison du défaut :

-) 12 (DC) : défaut max = 0.84141E-05 au noeud 1796
 défaut min = -0.92282E-05 au noeud 1474
 norme du défaut = 0.17642E-04 mm
 fichier créé : *tourcyl_1.unv0r*

-) 14 (DF) : défaut max = 0.47134E-01 au noeud 1039
 défaut min = -0.60034E-01 au noeud 1593
 norme du défaut = 0.10717 mm
 fichier créé : *tourcyl_2.unv0r*

-) 15 (DP) : défaut max = 1.3619 au noeud 288
 défaut min = 0.41923 au noeud 2030
 norme du défaut = 0.94267 mm
 fichier créé : *tourcyl_3.unv0r*

-) 9 (DC+DF+DP) : défaut max = 1.3656 au noeud 720
 défaut min = 0.41430 au noeud 410
 norme du défaut = 0.95129 mm
 fichier créé : *tourcyl_123.unv0r*

-) 8 (DB) : défaut max = 0.24934E-07 au noeud 1472
 défaut min = -0.28933E-07 au noeud 823
 norme du défaut = 0.53867E-07 mm
 fichier créé : *tourcyl_0.unv0r*

-) 1 (DB+DC+DF+DP) : défaut max = 1.3656 au noeud 2016
 défaut min = 0.41430 au noeud 410
 norme du défaut = 0.95129 mm
 fichier créé : *tourcyl_0123.unv0r*

3. Analyse des résultats

3.1. Résultats obtenus ($k = 3000 \text{ N/mm}$)

Nous avons rassemblé dans le tableau ci-dessous les valeurs du défaut radial (après filtrage) dû à chacune des composantes de l'effort global de coupe, ainsi que le défaut total (dû à la somme de ces composantes). Nous avons volontairement omis le défaut dû aux efforts de serrage, car il est négligeable à côté du défaut total ($5\text{E-}08$).

Noeud	F_c	F_r	F_p	$F_c + F_r + F_p$
247	0.00094	47.128	1124.5	1171.6
248	0.00100	40.351	1201.1	1241.4
249	0.00105	32.443	1264.8	1297.2
250	0.00109	23.536	1313.8	1337.3
251	0.00110	13.877	1346.5	1360.4
252	0.00111	3.6755	1361.9	1365.6
253	0.00109	-6.7786	1359.2	1352.4
254	0.00106	-17.209	1338.1	1320.9
255	0.00101	-27.285	1299.2	1271.9
256	0.00095	-36.677	1243.1	1206.4
257	0.00087	-45.016	1171.5	1126.5
258	0.00078	-51.929	1086.5	1034.6
259	0.00068	-57.012	990.96	933.94
260	0.00057	-59.859	888.39	828.53
261	0.00046	-60.034	783.08	723.05
262	0.00034	-57.107	680.07	622.96
263	0.00024	-50.617	585.16	534.54
264	0.00015	-40.108	504.96	464.85
265	0.00007	-25.095	446.86	421.76
266	0.00002	-4.9275	419.23	414.30
267	0.000004	22.270	432.44	454.71

Défaut radial (en μm)

Nous constatons que la force passive entraîne plus de 90% de la valeur du défaut global. La force passive déforme l'éprouvette cylindrique en flexion, déformation nettement plus importante que la torsion causée par les deux autres composantes.

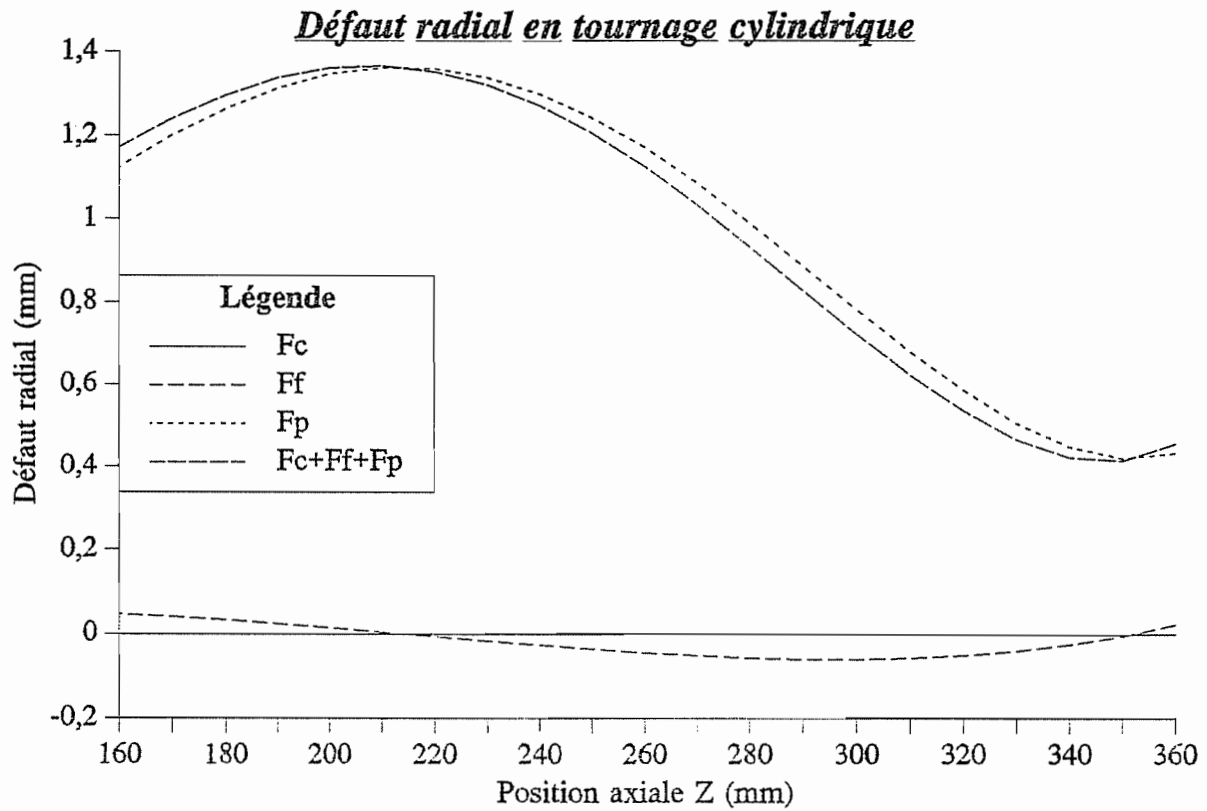


Figure 16 : Allure du défaut radial sur une génératrice de l'éprouvette cylindrique

3.2. Influence de la raideur de la contre-pointe

3.2.1. Résultats obtenus pour différentes valeurs de la raideur

Le défaut est ici exprimé en mm.

Z	1000 N/mm	2000 N/mm	3000 N/mm	6000 N/mm	99000 N/mm
160	0.61291	0.58988	1.1245	0.57415	0.56665
170	0.65966	0.63132	1.2011	0.61196	0.60273
180	0.70081	0.66637	1.2648	0.64284	0.63163
190	0.73546	0.69408	1.3138	0.66582	0.65235
200	0.76289	0.71369	1.3465	0.68007	0.66405
210	0.78258	0.72461	1.3619	0.68501	0.66614
220	0.79422	0.72650	1.3592	0.68025	0.65821
230	0.79775	0.71927	1.3381	0.66567	0.64012
240	0.79340	0.70311	1.2992	0.64143	0.61204
250	0.78167	0.67848	1.2431	0.60799	0.57440
260	0.76339	0.64618	1.1715	0.56611	0.52796
270	0.73969	0.60733	1.0865	0.51692	0.47383
280	0.71208	0.56341	0.99096	0.46186	0.41347
290	0.68241	0.51626	0.88839	0.40278	0.34870
300	0.65288	0.46810	0.78308	0.34188	0.28173
310	0.62612	0.42152	0.68007	0.28176	0.21516
320	0.60511	0.37953	0.58516	0.22544	0.15201
330	0.59327	0.34554	0.50496	0.17633	0.095696
340	0.59440	0.32339	0.44686	0.13827	0.050059
350	0.61281	0.31739	0.41923	0.11561	0.019450
360	0.65381	0.33290	0.43244	0.11370	0.0092462

Influence de la raideur de la contre-pointe sur le défaut dû à la force passive

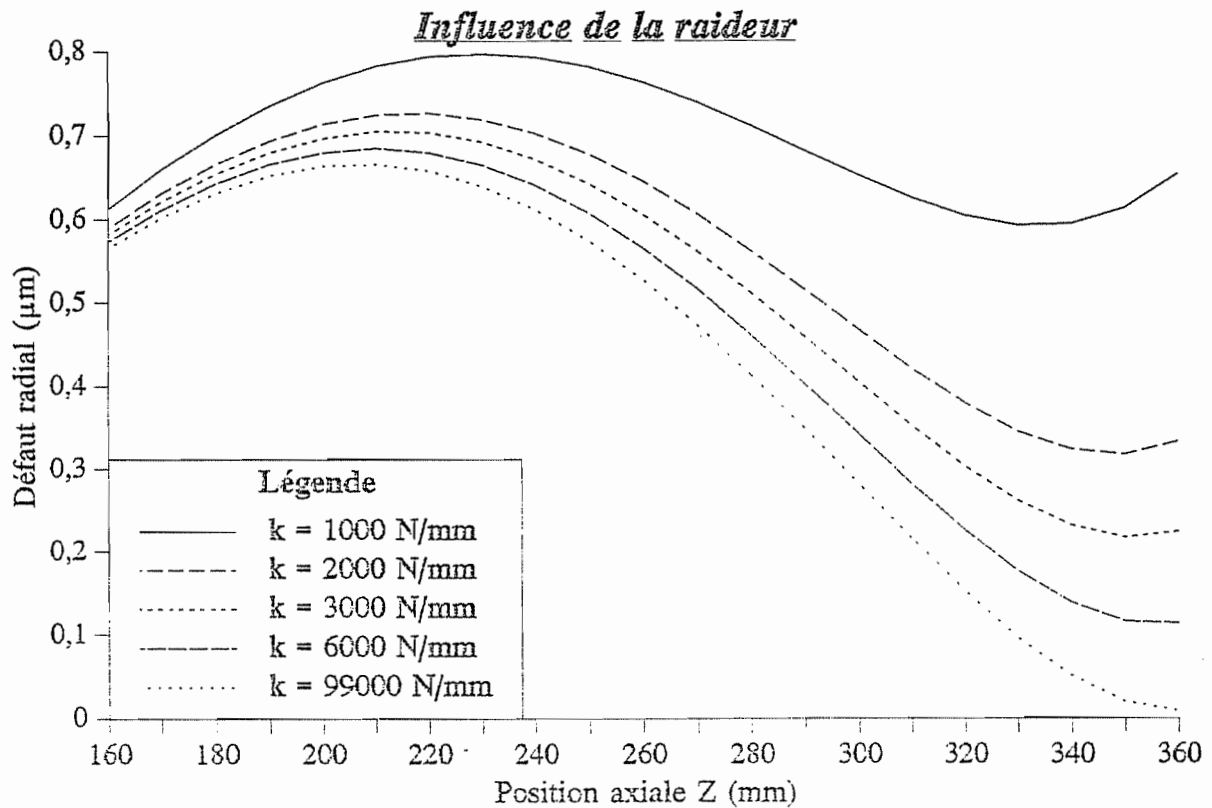


Figure 17 : Influence de la raideur de la contre-pointe sur le défaut dû à la force passive

3.2.2. Comparaison avec les résultats analytiques

En nous référant aux résultats de l'étude [1] concernant l'effet de la souplesse de la contre-pointe sur le défaut de cylindricité des pièces tournées, nous obtenons dans le cas du montage mixte :

$$\frac{3 * E I}{F l^3} * u_A = \xi^3 * \left[1 - \frac{\beta}{4} \xi (3 - \xi)^2 \right] = f(\xi; \beta)$$

avec
$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{3 E I}{k l^3}}$$

et
$$\xi = \frac{|Z - Z_{op}|}{l}$$

Dans le cas de notre éprouvette cylindrique, nous avons :

$$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$l = 360 \text{ mm}$$

$$I = \pi * \frac{d^4}{64} = \pi * \frac{15^4}{64} = 2485.049 \text{ mm}^4$$

En fonction de la raideur du ressort, le nombre sans dimension $\frac{k * l^3}{3 * E I}$ vaut :

pour $k = 1000 \text{ N/mm}$: $\frac{k * l^3}{3 * E I} = 29.801$

pour $k = 2000 \text{ N/mm}$: $\frac{k * l^3}{3 * E I} = 59.602$

pour $k = 3000 \text{ N/mm}$: $\frac{k * l^3}{3 * E I} = 89.403$

pour $k = 6000 \text{ N/mm}$: $\frac{k * l^3}{3 * E I} = 178.806$

pour $k = 99000 \text{ N/mm}$: $\frac{k * l^3}{3 * E I} = 2950.307$

La force passive calculée vaut 670.69746 N. Nous pouvons calculer la valeur du déplacement

adimensionnel d'un noeud $\frac{3 * E I}{F l^3} * u_A$ en fonction de sa position axiale ξ sur l'éprouvette

cylindrique. La force F considérée ici est la force passive appliquée à l'éprouvette cylindrique (force constante en tout point de la surface usinée). La courbe obtenue pourra être comparée aux courbes obtenues de manière analytique.

ξ	1000 N/mm (anal.)	1000 N/mm (calc.)	3000 N/mm (anal.)	3000 N/mm (calc.)
0.44444	0.026154	0.030665	0.024790	0.029121
0.47222	0.028448	0.033004	0.026748	0.031104
0.50000	0.030514	0.035062	0.028424	0.032753
0.52778	0.032306	0.036796	0.029769	0.034022
0.55556	0.033786	0.038168	0.030740	0.034870
0.58333	0.034924	0.039153	0.031306	0.035267
0.61111	0.035702	0.039736	0.031443	0.035196
0.63889	0.036114	0.039912	0.031143	0.034652
0.66667	0.036164	0.039695	0.030409	0.033642
0.69444	0.035873	0.039108	0.029258	0.032191
0.72222	0.035276	0.038193	0.027723	0.030336
0.75000	0.034425	0.037008	0.025853	0.028135
0.77778	0.033385	0.035262	0.023715	0.025661
0.80556	0.032243	0.034142	0.021392	0.023004
0.83333	0.031101	0.032664	0.018987	0.020278
0.86111	0.030082	0.031326	0.016622	0.017610
0.88889	0.029327	0.030274	0.014438	0.015152
0.91667	0.028997	0.029682	0.012598	0.013076
0.94444	0.029272	0.029739	0.011283	0.011572
0.97222	0.030355	0.030660	0.010696	0.010856
1.00000	0.032466	0.032711	0.011062	0.011199

Comparaison entre les résultats analytiques et ceux obtenus par calcul

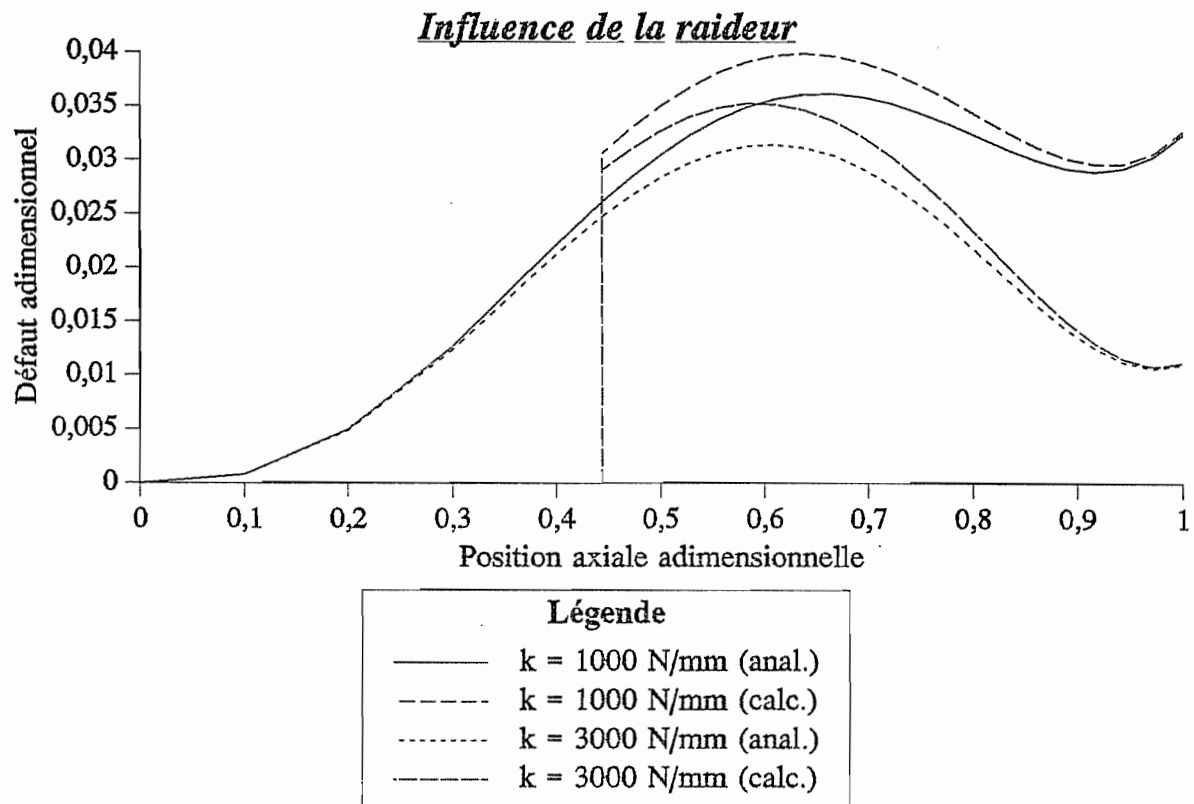


Figure 18 : Comparaison entre les résultats analytiques et les déplacements obtenus par calcul

V. Dressage au tour

1. Données du problème

1.1. Géométrie et maillage de la pièce

La pièce étudiée en dressage est la plaque sur deux appuis (II.1), dont la géométrie est rappelée ci-dessous.

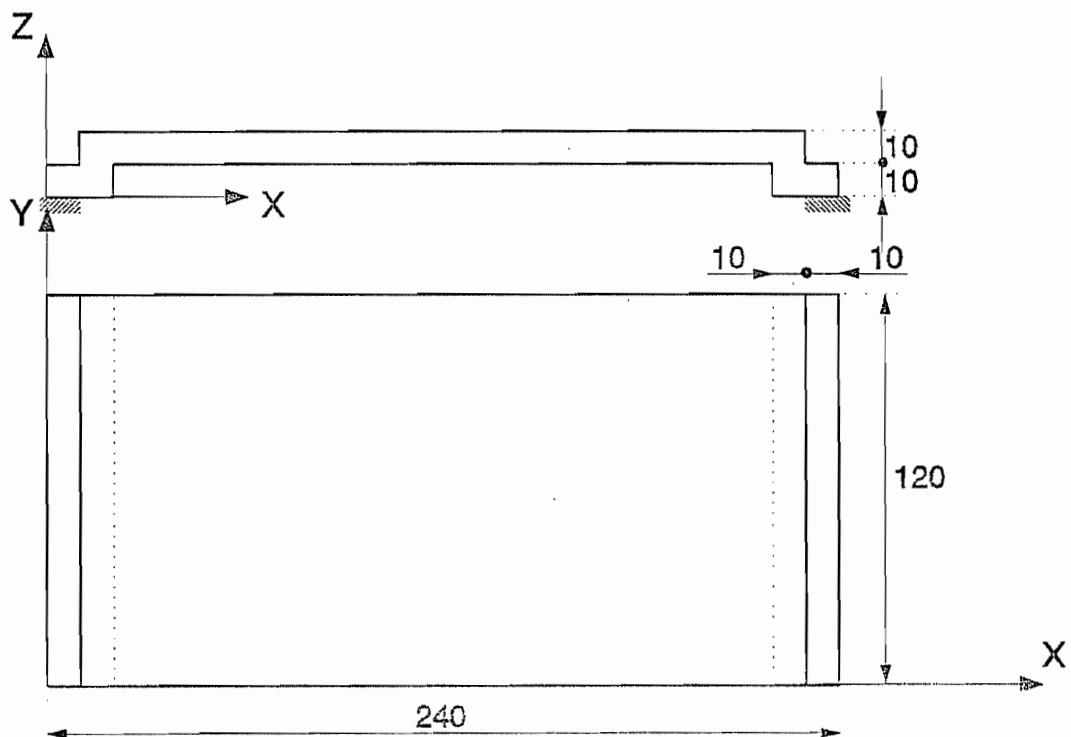


Figure 19 : Géométrie et axes de la plaque sur 2 appuis

1.2. Description de l'outil

outil de tour

matière de coupe : carbure métallique

angle de direction de l'arête principale : $\kappa_r = 65^\circ$

angle d'inclinaison d'arête : $\lambda_s = -6^\circ$

angle de coupe : $\gamma_n = -6^\circ$

1.3. Paramètres d'usinage

fréquence de rotation : $N = 2700$ tr/min

avance : $f = 0.4$ mm/tr

profondeur de passe : $a = 1$ mm

1.4. Trajectoire de l'outil

rectiligne

origine : $R = 125.3$ mm , $Z = 20$ mm

extrémité : $R = 0$ mm , $Z = 20$ mm

1.5. Bridage de la pièce

Le montage est hyperstatique (4 points de posage) et se veut peu déformant (serrage en "vis-à-vis"). En pratique, ce bridage a été modélisé en fixant les trois composantes des noeuds situés sur les faces inférieures des semelles ($Z = 0$) en $Y = 0, 5, 10, 230, 235$ et 240 (figure 18). Nous avons encore utilisé ici l'hypothèse d'un posage parabolique, c'est-à-dire que même les noeuds d'interface des éléments considérés ont été fixés selon toutes leurs composantes. Il y a donc au total 126 noeuds fixés.

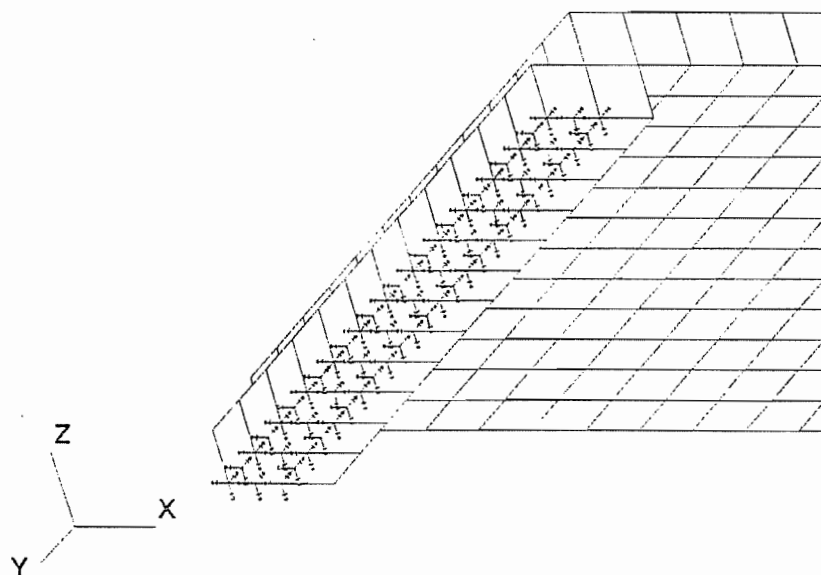


Figure 20 : Bridage parabolique de la plaque (côté gauche)

2. Traitement informatique du problème

La première démarche est de créer une directory dont le nom est celui de la pièce étudiée. Ici, nous prenons : *plaque* .

Cette directory doit **absolument** contenir :

- le fichier **.unv** correspondant à la pièce - ici, *plaque.unv* ;
- le fichier **.dat** pour NASTRAN , de **même nom** - *plaque.dat* .

2.0. Modification de la base de données matériau

Cette procédure permet d'ajouter un nouveau matériau dans la base de données matériau.

Ligne de commande : *mbd*

Entrée des caractéristiques du matériau

Nom du matériau : Ck45(-) (n° 64)

Pressions spécifiques et coefficients d'accroissement :

$k_c = 1743 \text{ MPa}$ $m_c = 0.2542$

$k_f = 606 \text{ MPa}$ $m_f = 0.6398$

$k_p = 497 \text{ MPa}$ $m_p = 0.4216$

Vitesse de coupe : $v_{s0} = 100 \text{ m/min}$

Angle de coupe : $\gamma_{n0} = -6^\circ$

Angle de direction de l'arête principale : $\lambda_{s0} = -6^\circ$

2.1. Interface

Cette procédure permet de créer le fichier de données *dressage.data* .

Ligne de commande : *int plaque dressage 0*

Remarque : 0 indique que nous traitons un nouveau problème.

Entrée des données du problème

Type d'usinage : 5 (dressage au tour)

Matériau : 3 (choisir un matériau)

n° du matériau : 64 (Ck45(-))

correction des pressions spécifiques? Oui

modifier? Non

Outil : matériau : 1 (carbure)

angle de direction d'arête principale : $\kappa_r = 65^\circ$

angle d'inclinaison d'arête de coupe : $\lambda_s = -6^\circ$

angle de coupe : $\gamma_n = -6^\circ$

corriger? Non

Trajectoire : coordonnées Z d'usinage : 20 (mm)
 rayon de départ : 270 mm
 rayon final : 0.01 mm (minimum actuellement possible)
 type de paramètres d'usinage : 2 (fréquence de rotation constante)
 fréquence de rotation : $N = 2700$ tr/min
 avance par tour : $f = 0.4$ mm/tr
 vitesse de coupe minimum : $(v_c)_{\min} = 10$ m/min
 corriger? Non

Profondeur de passe : profondeur de passe : $a = 1$ mm
 corriger? Non

Méthode de résolution : 1 (méthode directe)
 corriger? Non

Paramètres de calcul : forces d'usinage à prendre en compte : 1 ($F_c + F_f + F_p$)
 cas de charge séparés? Oui
 calcul avec les noeuds d'interface? Non
 créer une carte ideas "load sets" pour vérification? Oui
 corriger? Non

2.2. Préparation (prétraitement)

Ligne de commande : *pre plaque dressage plaque*

Remarque : le 3^{ème} paramètre de la commande correspond au nom du fichier *.unv*.

Cette procédure effectue le décodage du fichier de données *.data* pour créer un nouveau fichier de nom *dressage.decod*. De même, elle extrait du fichier *.unv* toutes les données relatives à la surface usinée; ces données constituent le fichier *plaque.msu*.

La dernière fonction du prétraitement est de calculer le nombre de cas de charge; nous en avons 898 dans ce problème. Ces cas de charge sont repris dans le fichier *dressage.cdc*.

2.3. Calcul des efforts de coupe

Ligne de commande : *prc plaque dressage*

Cette procédure effectue le calcul des efforts de coupe pour chacun des cas de charge, et les stocke dans le fichier *dressage.cha*. Ensuite, elle crée, à partir de ce nouveau fichier, les 3 fichiers à insérer dans *plaque.dat* pour pouvoir calculer les déplacements par NASTRAN. Ces fichiers sont: *dressage.set*, *dressage.subcase* et *dressage.chanas*.

Pour terminer, cette procédure complète le fichier pré-existant *plaque.dat* en y ajoutant les commandes permettant d'inclure les 3 nouveaux fichiers : *dressage.set*, *dressage.subcase* et *dressage.chanas*. L'ancienne version de *plaque.dat* est conservée sous le nom de *plaque_ms.old*, ces 2 nouveaux fichiers se trouvant dans la directory *plaque*.

Remarque : Il est indispensable que les fichiers *.dat* et *.unv* portent le même nom, pour que les procédures fonctionnent de manière correcte.

2.4. Passage par NASTRAN

L'étape suivante consiste à faire tourner le code NASTRAN avec *plaque.dat* comme fichier de données. Ce fichier fait appel aux 3 fichiers créés précédemment, pour rappel: *dressage.set* , *dressage.subcase* et *dressage.chanas* .

Les résultats sont alors contenus dans le fichier *plaque.f07* .

2.5. Post-processeur

Ligne de commande : *post plaque dressage*

Cette procédure commence par décoder le fichier de résultats *plaque.f07* pour créer un fichier contenant uniquement les pseudo-déplacements, *dressage.psd* . Ensuite, elle écrit les différents fichiers du défaut d'usinage, qui pourront être traités par GIBUS. Chacun de ces fichiers défaut nécessite une nouvelle utilisation du post-processeur.

Choix de la combinaison du défaut :

-) 12 (DC) : défaut max = 0.11477E-01 au noeud 2317
 défaut min = -0.10543E-01 au noeud 113
 norme du défaut = 0.22020E-01 mm
 fichier créé : *dressage_1.unv0r*
-) 14 (DF) : défaut max = 0.31815E-02 au noeud 2485
 défaut min = -0.54510E-02 au noeud 105
 norme du défaut = 0.86324E-02 mm
 fichier créé : *dressage_2.unv0r*
-) 15 (DP) : défaut max = 0.42037E-01 au noeud 2341
 défaut min = 0.12291E-02 au noeud 2575
 norme du défaut = 0.40808E-01 mm
 fichier créé : *dressage_3.unv0r*
-) 9 (DC+DF+DP) : défaut max = 0.53468E-01 au noeud 2341
 défaut min = -0.13430E-02 au noeud 98
 norme du défaut = 0.54811E-01 mm
 fichier créé : *dressage_123.unv0r*
-) 8 (DB) : défaut max = 0.0 au noeud 12
 défaut min = 0.0 au noeud 12
 norme du défaut = 0.0 mm
 fichier créé : *dressage_0.unv0r*

3. Analyse des résultats

Nous avons repris ci-dessous les valeurs du défaut sur une ligne transversale, située au milieu de la plaque ($X = 120$), pour Y allant de 0 à 120 ($Z = 20$, bien entendu). Ce défaut est ici exprimé en μm . Le défaut dû aux forces de bridage est nul, étant donné qu'il n'y a aucun effort de serrage sur la pièce. Le bridage est uniquement composé de fixations infiniment rigides.

Y	noeud	F_c	F_t	F_p	$F_c + F_t + F_p$
0	2341	11.431	-0.00000	42.037	53.468
10	2340	5.0967	0.20838	30.501	35.806
20	2339	3.0002	0.24533	24.162	27.407
30	2338	1.7564	0.21544	20.160	22.132
40	2337	0.95988	0.15698	17.693	18.809
50	2336	0.41654	0.08515	16.332	16.833
60	2335	-0.00000	-0.00000	15.852	15.852
70	2334	-0.38610	-0.11050	16.177	15.681
80	2333	-0.82623	-0.27025	17.364	16.267
90	2332	-1.4090	-0.51846	19.611	17.684
100	2331	-2.2546	-0.92179	23.313	20.137
110	2330	-3.6110	-1.6240	29.214	23.979
120	109	-7.6923	-3.7741	40.004	28.538

Défaut normal à la surface usinée (en μm)

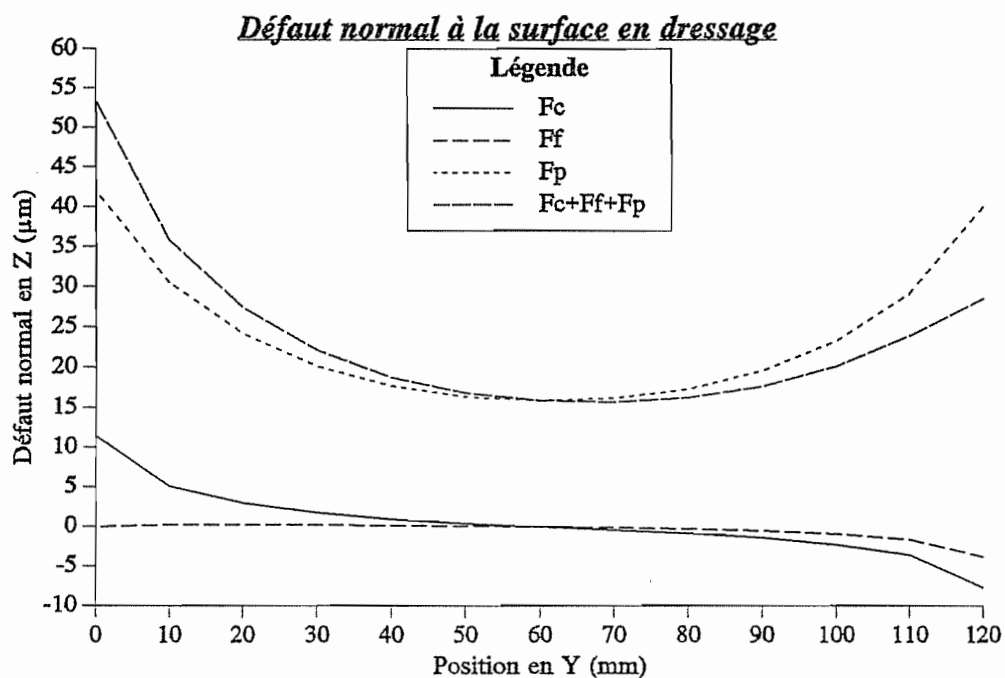


Figure 21 : Défaut normal sur une section transversale de la plaque (en $X=120$)

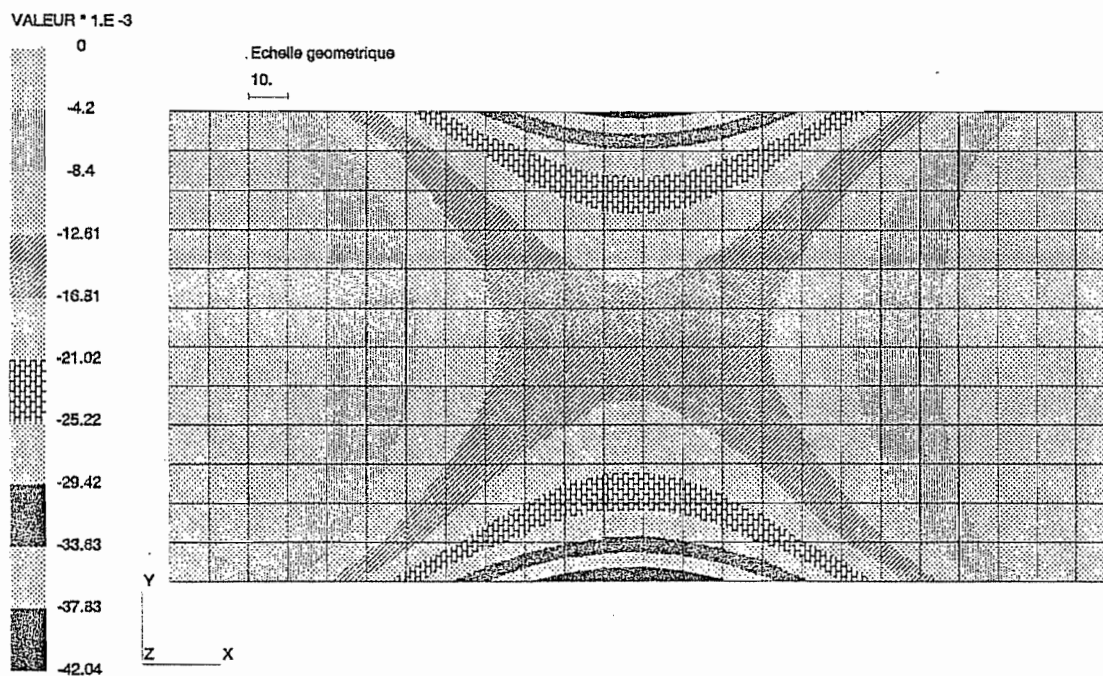


Figure 21b : Visualisation du défaut normal dû à la force passive seule

VI. Alésage à l'alésoir

1. Données du problème

1.1. Géométrie et maillage de la pièce

La pièce étudiée en alésage à l'alésoir est le baladeur (II.3), dont le maillage est représenté ci-dessous.

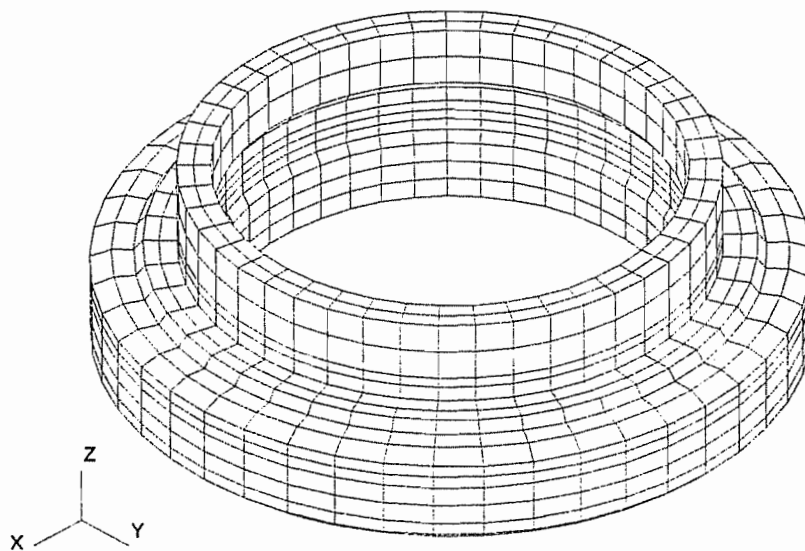


Figure 22 : Maillage du baladeur

1.2. Description de l'outil

alésoir

matière de coupe : carbure métallique

diamètre : $d = 63 \text{ mm}$

nombre de dents : $z = 14$

angle de direction de l'arête principale : $\kappa_r = 75^\circ$

angle de coupe latéral : $\gamma_l = -7^\circ$

angle de coupe vers l'arrière : $\gamma_p = -4^\circ$

angle de dépinçage : $\delta = 0^\circ$

1.3. Paramètres d'usinage

fréquence de rotation : $N = 480$ tr/min

vitesse d'avance : $v_f = 835$ mm/min

profondeur de passe : $a = 1$ mm

1.4. Trajectoire de l'outil

rectiligne

origine : $(0, 0, 0)$

extrémité : $(0, 0, -26.851)$

1.5. Bridage de la pièce

Le bridage a été modélisé en fixant axialement, radialement et tangentielllement 3 noeuds situés sur la face inférieure du baladeur et à un rayon de 46.5 mm (figure 20).

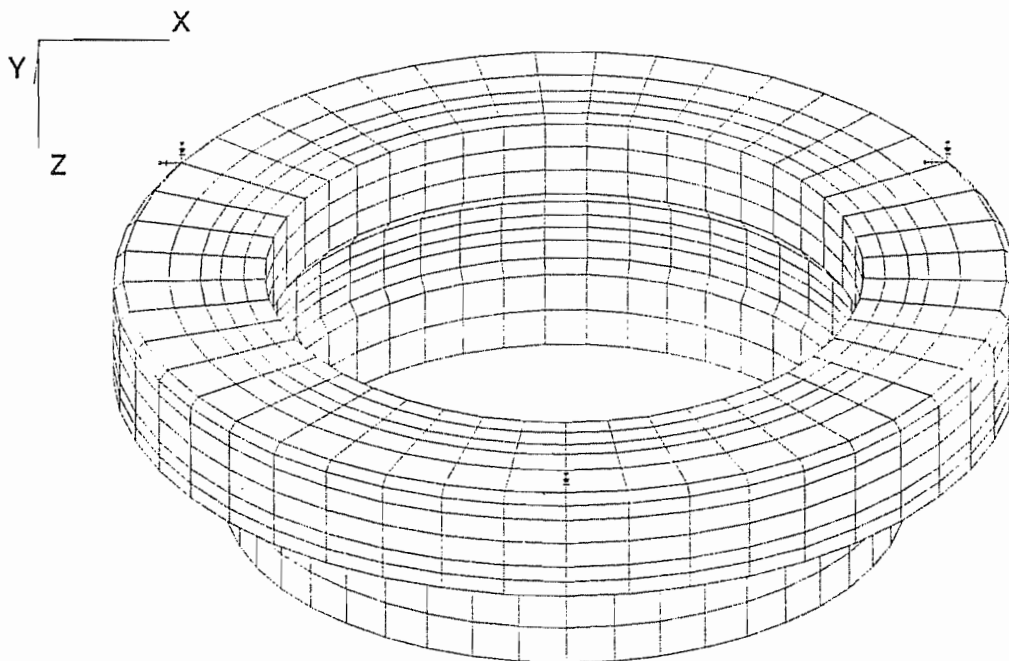


Figure 23 : Fixations du baladeur

2. Traitement informatique du problème

La première démarche est de créer une directory dont le nom est celui de la pièce étudiée. Ici, nous prenons : *balad*.

Cette directory doit **absolument** contenir :

- le fichier **.unv** correspondant à la pièce - ici, *alesage.unv* ;
- le fichier **.dat** pour NASTRAN, de **même nom** - *alesage.dat*.

2.1. Interface

Cette procédure permet de créer le fichier de données *alesage.data*.

Ligne de commande : *int balad alesage 0*

Remarque : 0 indique que nous traitons un nouveau problème.

Entrée des données du problème

Type d'usinage :	6 (alésage à l'alésoir)
Matériau :	3 (choisir un matériau)
	n° du matériau : 40 (34CrMo4G)
	correction des pressions spécifiques? Oui
	modifier? Non
Outil :	matériau : 1 (carbure)
	diamètre de l'alésoir : $d = 63$ mm
	nombre de dents : $z = 14$
	angle de direction d'arête principale : $\kappa_r = 75^\circ$
	angle de coupe latéral : $\gamma_l = -7^\circ$
	angle de coupe vers l'arrière : $\gamma_p = -4^\circ$
	corriger? Non
Trajectoire :	point de passage de l'axe de l'alésoir : $(x_p, y_p) = (0,0)$
	coordonnée Z de l'origine : 0.00
	coordonnée Z de l'extrémité : -26.851
	fréquence de rotation : $N = 480$ tr/min
	vitesse d'avance : $v_f = 835$ mm/min
	corriger? Non
Profondeur de passe :	profondeur de passe : $a = 1$ mm
	corriger? Non
Méthode de résolution :	1 (méthode directe)
	corriger? Non
Paramètres de calcul :	forces d'usinage à prendre en compte : 1 ($F_c + F_f + F_p$)
	cas de charge séparés? Oui
	réduction du nombre de cas de charge? Non
	calcul avec les noeuds d'interface? Non
	créer une carte ideas "load sets" pour vérification? Oui
	corriger? Non

2.2. Préparation (prétraitement)

Ligne de commande : *pre balad alesage alesage*

Remarque : le 3^{ème} paramètre de la commande correspond au nom du fichier *.unv* .

Cette procédure effectue le décodage du fichier de données *.data* pour créer un nouveau fichier de nom *alesage.decod* . De même, elle extrait du fichier *.unv* toutes les données relatives à la surface usinée; ces données constituent le fichier *alesage.msu*.

La dernière fonction du prétraitement est de calculer le nombre de cas de charge; nous en avons 22 dans ce problème. Ces cas de charge sont repris dans le fichier *alesage.cdc*.

2.3. Calcul des efforts de coupe

Ligne de commande : *prc balad alesage*

Cette procédure effectue le calcul des efforts de coupe pour chacun des cas de charge, et les stocke dans le fichier *alesage.cha* . Ensuite, elle crée, à partir de ce nouveau fichier, les 3 fichiers à insérer dans *alesage.dat* pour pouvoir calculer les déplacements par NASTRAN. Ces fichiers sont : *alesage.set* , *alesage.subcase* et *alesage.chanas* .

Pour terminer, cette procédure complète le fichier pré-existant *alesage.dat* en y ajoutant les commandes permettant d'inclure les 3 nouveaux fichiers : *alesage.set* , *alesage.subcase* et *alesage.chanas* . L'ancienne version de *alesage.dat* est conservée sous le nom de *alesage.old*, ces 2 nouveaux fichiers se trouvant dans la directory *balad*.

Remarque : Il est indispensable que les fichiers *.dat* et *.unv* portent le même nom, pour que les procédures fonctionnent de manière correcte.

2.4. Passage par NASTRAN

L'étape suivante consiste à faire tourner le code NASTRAN avec *alesage.dat* comme fichier de données. Ce fichier fait appel aux 3 fichiers créés précédemment, pour rappel: *alesage.set* , *alesage.subcase* et *alesage.chanas* .

Les résultats sont alors contenus dans le fichier *alesage.f07* .

2.5. Post-processeur

Ligne de commande : *post balad alesage*

Cette procédure commence par décoder le fichier de résultats *alesage.f07* pour créer un fichier contenant uniquement les pseudo-déplacements, *alesage.psd*. Ensuite, elle écrit les différents fichiers du défaut d'usinage, qui pourront être traités par GIBUS. Chacun de ces fichiers défaut nécessite une nouvelle utilisation du post-processeur.

Remarque : Il n'y a aucune force de serrage; le bridage est donc nul en tout point de la surface usinée.

Choix de la combinaison du défaut :

-) 12 (DC) : défaut max = 0.80752E-03 au noeud 622
 défaut min = -0.80752E-03 au noeud 2413
 norme du défaut = 0.16150E-02 mm
 fichier créé : *alesage_1.unv0r*
-) 14 (DF) : défaut max = 0.12245E-02 au noeud 1
 défaut min = -0.27854E-02 au noeud 625
 norme du défaut = 0.40099E-02 mm
 fichier créé : *alesage_2.unv0r*
-) 15 (DP) : défaut max = 0.10850E-02 au noeud 625
 défaut min = 0.0 au noeud 54
 norme du défaut = 0.10850E-02 mm
 fichier créé : *alesage_3.unv0r*
-) 9 (DC+DF+DP) : défaut max = 0.23370E-02 au noeud 104
 défaut min = -0.18893E-02 au noeud 2411
 norme du défaut = 0.42262E-02 mm
 fichier créé : *alesage_123.unv0r*

3. Analyse des résultats

Nous avons repris ci-dessous les valeurs du défaut sur une génératrice située sur la surface usinée (rayon = 31.5 mm), et de position angulaire $\theta = 90^\circ$. La valeur du défaut radial est donc l'inverse du déplacement selon Y de chacun des noeuds considérés. Ce défaut est ici exprimé en μm .

Z	noeud	F_c	F_t	F_p	$F_c+F_t+F_p$
0	54	0.00000	0.00000	0.0000	0.0000
-4.25	53	0.00000	2.7854	-1.0850	1.7004
-8.5	45	0.00000	2.2202	-0.71148	1.5088
Rainure	-	-	-	-	-
-18.35	3	-0.00000	0.80634	-0.29074	0.51560
-21.25	91	-0.00000	0.16795	-0.26454	-0.09659
-24.05	7	-0.00000	-0.46744	-0.35938	-0.82682
-26.85	1	-0.00000	-1.2245	-0.66868	-1.8931

Défaut normal à la surface usinée (en μm)

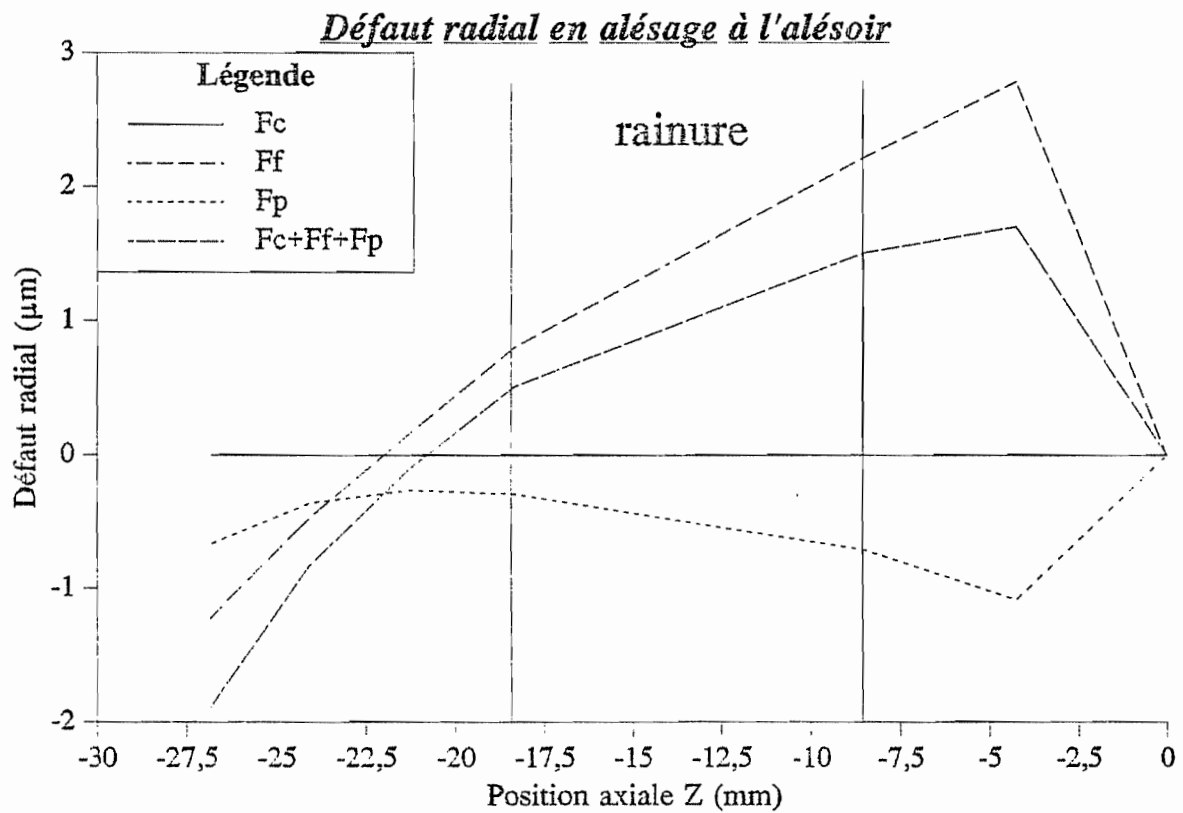


Figure 24 : Défaut radial sur une génératrice du baladeur

VII. Brochage intérieur

1. Données du problème

1.1. Géométrie et maillage de la pièce

La pièce étudiée en brochage intérieur est le baladeur (II.3), dont le maillage est représenté ci-dessous.

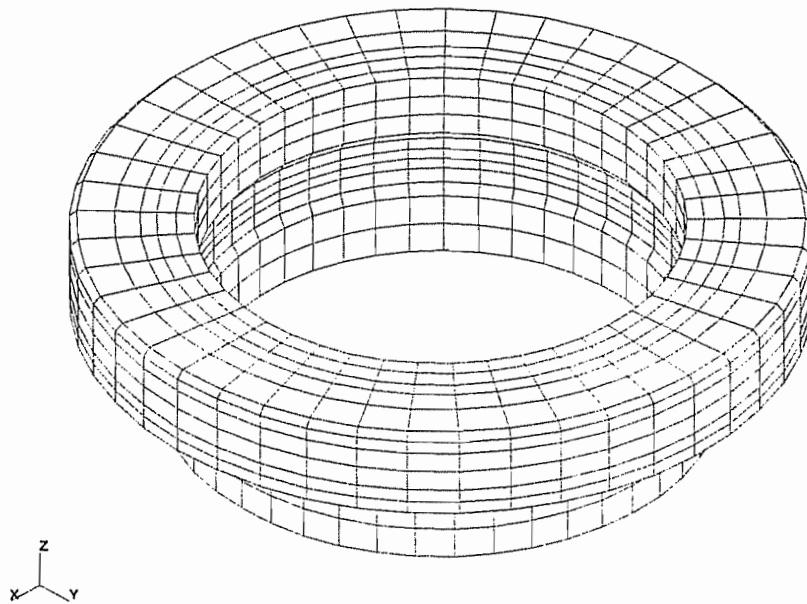


Figure 25 : Maillage du baladeur

1.2. Description de l'outil

broche

matière de coupe : carbure métallique

angle de coupe : $\gamma_n = 18^\circ$

pas : $e = 7 \text{ mm}$

étalement des dents : $h = 0.036 \text{ mm}$

1.3. Paramètres d'usinage

vitesse de coupe : $v_c = 24 \text{ m/min}$

1.4. Trajectoire de l'outil

rectiligne

origine : $Z = 0$ mm

extrémité : $Z = -26.851$ mm

1.5. Bridage de la pièce

Le montage consiste en un simple posage sur une couronne de diamètre intérieur 72 mm et de diamètre extérieur 93 mm. En pratique, ce bridage a été modélisé en fixant axialement et tangentiellement tous les noeuds situés au diamètre 76.74 mm et sur la face inférieure du baladeur (figure 24).

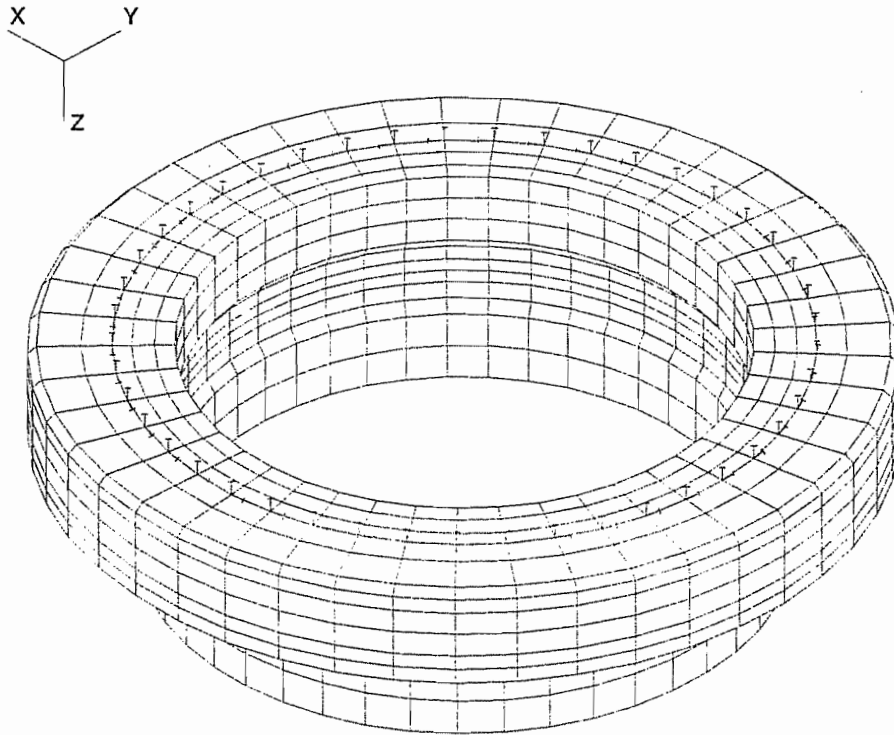


Figure 26 : Fixations du baladeur

2. Traitement informatique du problème

La première démarche est de créer une directory dont le nom est celui de la pièce étudiée. Ici, nous prenons : *balad* .

Cette directory doit **absolument** contenir :

- le fichier **.unv** correspondant à la pièce - ici, *bal_broch.unv* ;
- le fichier **.dat** pour NASTRAN , de **même nom** - *bal_broch.dat* .

2.1. Interface

Cette procédure permet de créer le fichier de données *brochage.data* .

Ligne de commande : *int balad brochage 0*

Remarque : *0* indique que nous traitons un nouveau problème.

Entrée des données du problème

Type d'usinage : 7 (brochage intérieur)
 Matériau : 3 (choisir un matériau)
 n° du matériau : 40 (34CrMo4G)
 correction des pressions spécifiques? Oui
 modifier? Non
 Outil : matériau : 1 (carbure)
 pas de la broche : $e = 7$ mm
 progression par dent : $h = 0.036$ mm/dent
 angle de coupe : $\gamma_n = 18^\circ$
 corriger? Non
 Trajectoire : sens de déplacement de la broche : 2 (vers les Z négatifs)
 point de passage de l'axe de la broche : $(x_p, y_p) = (0,0)$
 vitesse de la broche : $v_c = 24$ m/min
 corriger? Non
 Paramètres de calcul : forces d'usinage à prendre en compte : 1 ($F_c + F_t$)
 cas de charge séparés? Oui
 calcul avec les noeuds d'interface? Non
 corriger? Non

2.2. Préparation (prétraitement)

Ligne de commande : *pre balad brochage bal_broch*

Remarque : le 3^{ème} paramètre de la commande correspond au nom du fichier **.unv** .

Cette procédure effectue le décodage du fichier de données *.data* pour créer un nouveau fichier de nom *brochage.decod* . De même, elle extrait du fichier *.unv* toutes les données relatives à la surface usinée; ces données constituent le fichier *bal_broch.msu*.

Remarque : Le nombre de cas de charge est trivial en brochage; ici, il vaut 3 (le maximum possible en brochage intérieur).

2.3. Calcul des efforts de coupe

Ligne de commande : *prc balad brochage*

Cette procédure effectue le calcul des efforts de coupe pour chacun des cas de charge, et les stocke dans le fichier *brochage.cha*. Ensuite, elle crée, à partir de ce nouveau fichier, les 3 fichiers à insérer dans *bal_broch.dat* pour pouvoir calculer les déplacements par NASTRAN. Ces fichiers sont : *brochage.set*, *brochage.subcase* et *brochage.chanas*.

Nous obtenons, pour les différentes composantes de l'effort de coupe : $F_c = -26.76688 \text{ N}$.
 $F_t = 21.8222 \text{ N}$.

Pour terminer, cette procédure complète le fichier pré-existant *bal_broch.dat* en y ajoutant les commandes permettant d'inclure les 3 nouveaux fichiers : *brochage.set*, *brochage.subcase* et *brochage.chanas*. L'ancienne version de *bal_broch.dat* est conservée sous le nom de *bal_broch.old*, ces 2 nouveaux fichiers se trouvant dans la directory *balad*.

Remarque : Il est indispensable que les fichiers *.dat* et *.unv* portent le même nom, pour que les procédures fonctionnent de manière correcte.

2.4. Passage par NASTRAN

L'étape suivante consiste à faire tourner le code NASTRAN avec *bal_broch.dat* comme fichier de données. Ce fichier fait appel aux 3 fichiers créés précédemment, pour rappel: *brochage.set*, *brochage.subcase* et *brochage.chanas*.

Les résultats sont alors contenus dans le fichier *bal_broch.f07*.

2.5. Post-processeur

Ligne de commande : *post balad brochage*

Cette procédure commence par décoder le fichier de résultats *bal_broch.f07* pour créer un fichier contenant uniquement les pseudo-déplacements, *brochage.psd*. Ensuite, elle écrit les différents fichiers du défaut d'usinage, qui pourront être traités par GIBUS. Chacun de ces fichiers défaut nécessite une nouvelle utilisation du post-processeur.

Remarque : Il n'y a aucune force de serrage; le défaut de bridage est donc nul en tout point de la surface usinée.

Choix de la combinaison du défaut :

-) 6 (DC) : défaut max = 0.19138E-01 au noeud 1002
 défaut min = -0.17703E-01 au noeud 631
 norme du défaut = 0.36842E-01 mm
 fichier créé : *brochage_1.unv0r*
-) 7 (DF) : défaut max = 0.25824E-01 au noeud 54
 défaut min = 0.65277E-02 au noeud 145
 norme du défaut = 0.19296E-01 mm
 fichier créé : *brochage_2.unv0r*
-) 5 (DC+DF) : défaut max = 0.26114E-01 au noeud 1002
 défaut min = 0.10531E-02 au noeud 528
 norme du défaut = 0.25061E-01 mm
 fichier créé : *brochage_12.unv0r*

3. Analyse des résultats

Nous avons repris ci-dessous les valeurs du défaut sur une génératrice située sur la surface usinée (rayon = 31.5 mm), et de position angulaire $\theta = 90^\circ$. La valeur du défaut radial est donc l'inverse du déplacement selon Y de chacun des noeuds considérés. Ce défaut est ici exprimé en μm .

Z	noeud	F_c	F_r	$F_c + F_r$
0	54	17.703	-25.824	-8.1206
-4.25	53	13.515	-18.664	-5.1494
-8.5	45	10.566	-11.620	-1.0534
Rainure	-	-	-	-
-18.35	3	-1.5485	-6.5277	-8.0762
-21.25	91	-6.9470	-6.8167	-13.764
-24.05	7	-12.614	-6.9105	-19.525
-26.85	1	-19.138	-6.9754	-26.114

Défaut normal à la surface usinée (en μm)

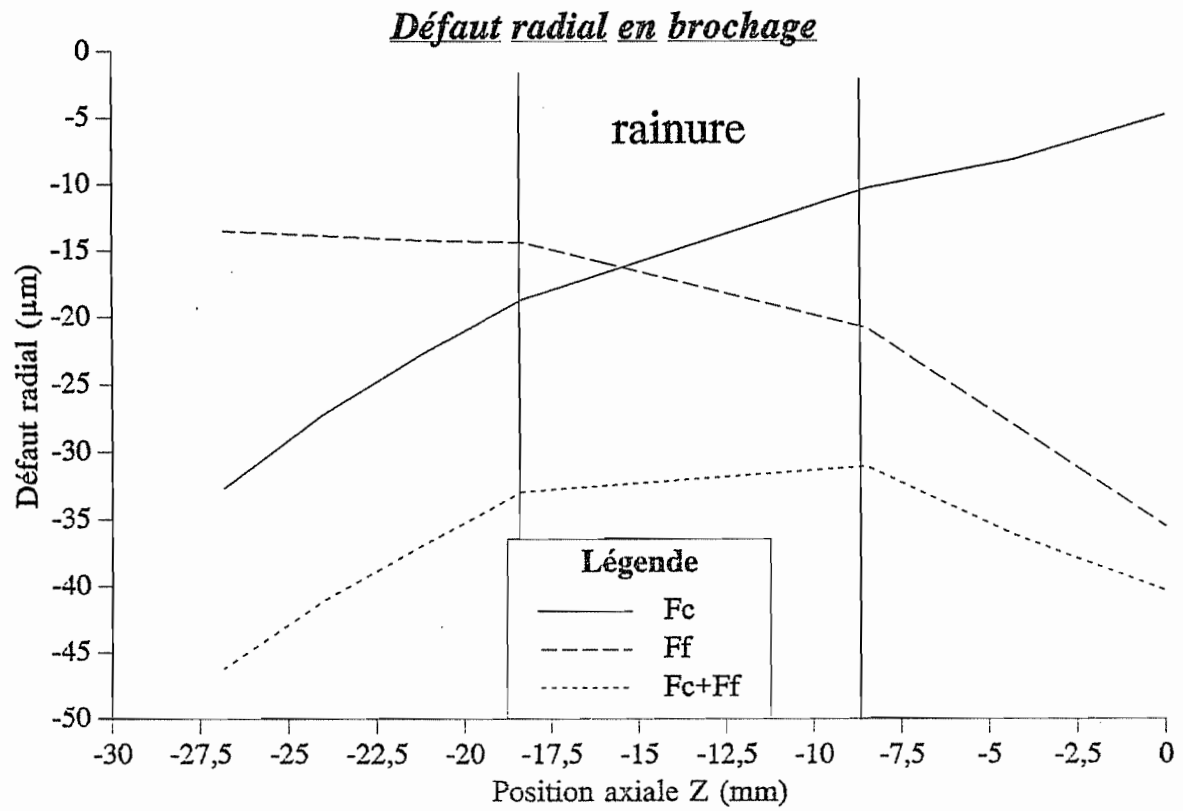


Figure 27 : Défaut radial sur une génératrice du baladeur

VIII. Alésage au grain

1. Données du problème

1.1. Géométrie et maillage de la pièce

La pièce étudiée en alésage au grain est le baladeur (II.3), dont le maillage est représenté ci-dessous.

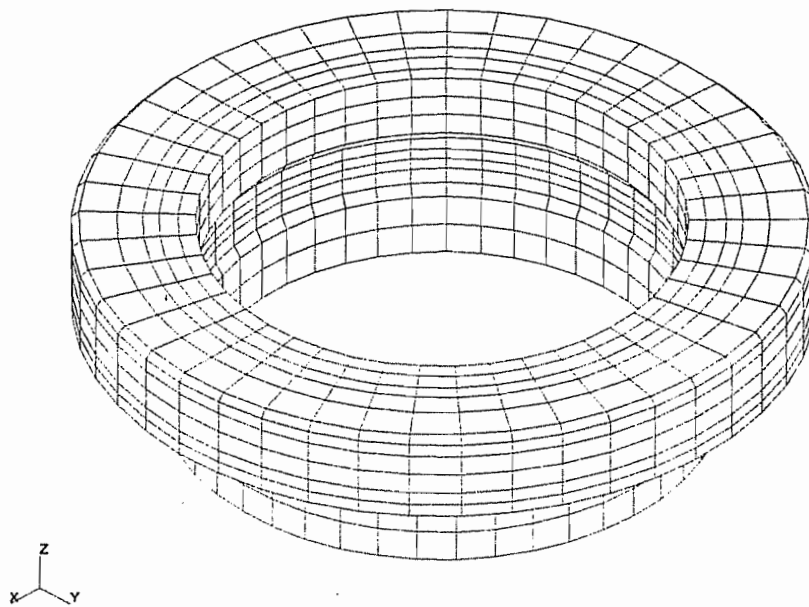


Figure 28 : Maillage du baladeur

1.2. Description de l'outil

outil de tour

matière de coupe : carbure métallique

angle de direction de l'arête principale : $\kappa_r = 65^\circ$

angle d'inclinaison d'arête : $\lambda_s = -6^\circ$

angle de coupe : $\gamma_n = -6^\circ$

1.3. Paramètres d'usinage

fréquence de rotation : $N = 2700$ tr/min

avance : $f = 0.4$ mm/tr

profondeur de passe : $a = 1$ mm

1.4. Trajectoire de l'outil

rectiligne

origine : $R = 31.5$ mm , $Z = 0$ mm

extrémité : $R = 31.5$ mm , $Z = -26.851$ mm

1.5. Bridage de la pièce

Le bridage a été modélisé en fixant axialement, radialement et tangentielllement 3 noeuds situés sur la face inférieure du baladeur et à un rayon de 46.5 mm (figure 24).

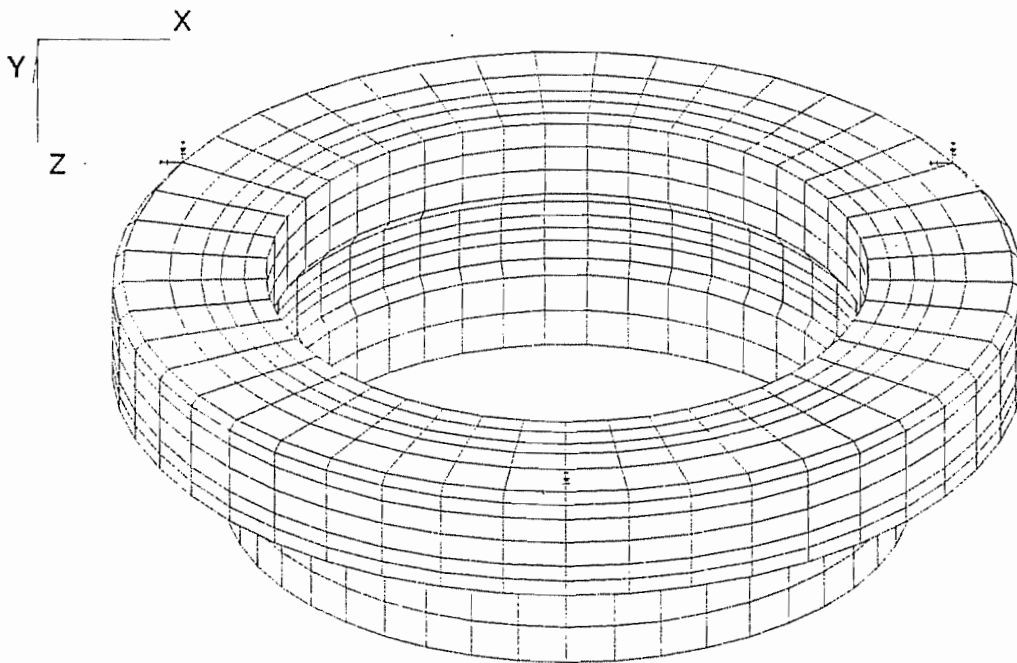


Figure 29 : Fixations du baladeur

2. Traitement informatique du problème

La première démarche est de créer une directory dont le nom est celui de la pièce étudiée. Ici, nous prenons : *balad* .

Cette directory doit **absolument** contenir :

- le fichier **.unv** correspondant à la pièce - ici, *grain.unv* ;
- le fichier **.dat** pour NASTRAN , de **même nom** - *grain.dat* .

2.1. Interface

Cette procédure permet de créer le fichier de données *grain.data* .

Ligne de commande : *int balad grain 0*

Remarque : *0* indique que nous traitons un nouveau problème.

Entrée des données du problème

Type d'usinage :	9 (alésage au grain)
Matériau :	3 (choisir un matériau)
	n° du matériau : 40 (34CrMo4G)
	correction des pressions spécifiques? Oui
	modifier? Non
Outil :	matériau : 1 (carbure)
	angle de direction d'arête principale : $\kappa_r = 65^\circ$
	angle d'inclinaison d'arête de coupe : $\lambda_s = -6^\circ$
	angle de coupe : $\gamma_n = -6^\circ$
	corriger? Non
Trajectoire :	rayon d'usinage : 31.5 mm
	coordonnée Z de l'origine : 0.00
	coordonnée Z de l'extrémité : -26.851
	2 (fréquence de rotation constante)
	fréquence de rotation : N = 2700 tr/min
	avance par tour : f = 0.4 mm/tr
	corriger? Non
Profondeur de passe :	profondeur de passe : a = 1 mm
	corriger? Non
Méthode de résolution :	1 (méthode directe)
	corriger? Non
Paramètres de calcul :	forces d'usinage à prendre en compte : 1 ($F_c + F_f + F_p$)
	cas de charge séparés? Oui
	calcul avec les noeuds d'interface? Non
	créer une carte ideas "load sets" pour vérification? Oui
	corriger? Non

2.2. Préparation (prétraitement)

Ligne de commande : *pre balad grain grain*

Remarque : le 3^{ème} paramètre de la commande correspond au nom du fichier *.unv* .

Cette procédure effectue le décodage du fichier de données *.data* pour créer un nouveau fichier de nom *grain.decod* . De même, elle extrait du fichier *.unv* toutes les données relatives à la surface usinée; ces données constituent le fichier *grain.msu*.

La dernière fonction du prétraitement est de calculer le nombre de cas de charge; nous en avons 946 dans ce problème. Ces cas de charge sont repris dans le fichier *grain.cdc*.

2.3. Calcul des efforts de coupe

Ligne de commande : *prc balad grain*

Cette procédure effectue le calcul des efforts de coupe pour chacun des cas de charge, et les stocke dans le fichier *grain.cha* . Ensuite, elle crée, à partir de ce nouveau fichier, les 3 fichiers à insérer dans *grain.dat* pour pouvoir calculer les déplacements par NASTRAN. Ces fichiers sont: *grain.set* , *grain.subcase* et *grain.chanas* .

Pour terminer, cette procédure complète le fichier pré-existant *grain.dat* en y ajoutant les commandes permettant d'inclure les 3 nouveaux fichiers : *grain.set* , *grain.subcase* et *grain.chanas* . L'ancienne version de *grain.dat* est conservée sous le nom de *grain.old*, ces 2 nouveaux fichiers se trouvant dans la directory *balad*.

Remarque : Il est indispensable que les fichiers *.dat* et *.unv* portent le même nom, pour que les procédures fonctionnent de manière correcte.

2.4. Passage par NASTRAN

L'étape suivante consiste à faire tourner le code NASTRAN avec *grain.dat* comme fichier de données. Ce fichier fait appel aux 3 fichiers créés précédemment, pour rappel: *grain.set* , *grain.subcase* et *grain.chanas* .

Les résultats sont alors contenus dans le fichier *grain.f07* .

2.5. Post-processeur

Ligne de commande : *post balad grain*

Cette procédure commence par décoder le fichier de résultats *grain.f07* pour créer un fichier contenant uniquement les pseudo-déplacements, *grain.psd*. Ensuite, elle écrit les différents fichiers du défaut d'usinage, qui pourront être traités par GIBUS. Chacun de ces fichiers défaut nécessite une nouvelle utilisation du post-processeur.

Remarque : Il n'y a aucune force de serrage; le défaut de bridage est donc nul en tout point de la surface usinée.

Choix de la combinaison du défaut :

-) 12 (DC) : défaut max = 0.14447E-01 au noeud 2436
 défaut min = -0.14447E-01 au noeud 629
 norme du défaut = 0.28894E-01 mm
 fichier créé : *grain_1.unv0r*
-) 14 (DF) : défaut max = 0.35314E-02 au noeud 1517
 défaut min = -0.56272E-02 au noeud 640
 norme du défaut = 0.91586E-02 mm
 fichier créé : *grain_2.unv0r*
-) 15 (DP) : défaut max = 0.22208E-01 au noeud 1532
 défaut min = 0.25529E-02 au noeud 91
 norme du défaut = 0.19655E-01 mm
 fichier créé : *grain_3.unv0r*
-) 9 (DC+DF+DP) : défaut max = 0.33109E-01 au noeud 2435
 défaut min = -0.17834E-02 au noeud 612
 norme du défaut = 0.34892E-01 mm
 fichier créé : *grain_123.unv0r*

3. Analyse des résultats

Nous avons repris ci-dessous les valeurs du défaut sur une génératrice située sur la surface usinée (rayon = 31.5 mm), et de position angulaire $\theta = 90^\circ$. La valeur du défaut radial est donc l'inverse du déplacement selon Y de chacun des noeuds considérés. Ce défaut est ici exprimé en μm .

Z	noeud	F_c	F_t	F_p	$F_c+F_t+F_p$
0	54	0.00000	5.6272	-14.382	-8.7552
-4.25	53	0.00000	2.7474	-7.0198	-4.2724
-8.5	45	0.00000	1.8410	-4.8117	-2.9707
Rainure	-	-	-	-	-
-18.35	3	0.00000	0.88705	-2.8084	-1.9214
-21.25	91	0.00000	0.41515	-2.5529	-2.1377
-24.05	7	0.00000	-0.14394	-2.6763	-2.8202
-26.85	1	0.00000	-2.3811	-4.6212	-7.0023

Défaut normal à la surface usinée (en μm)

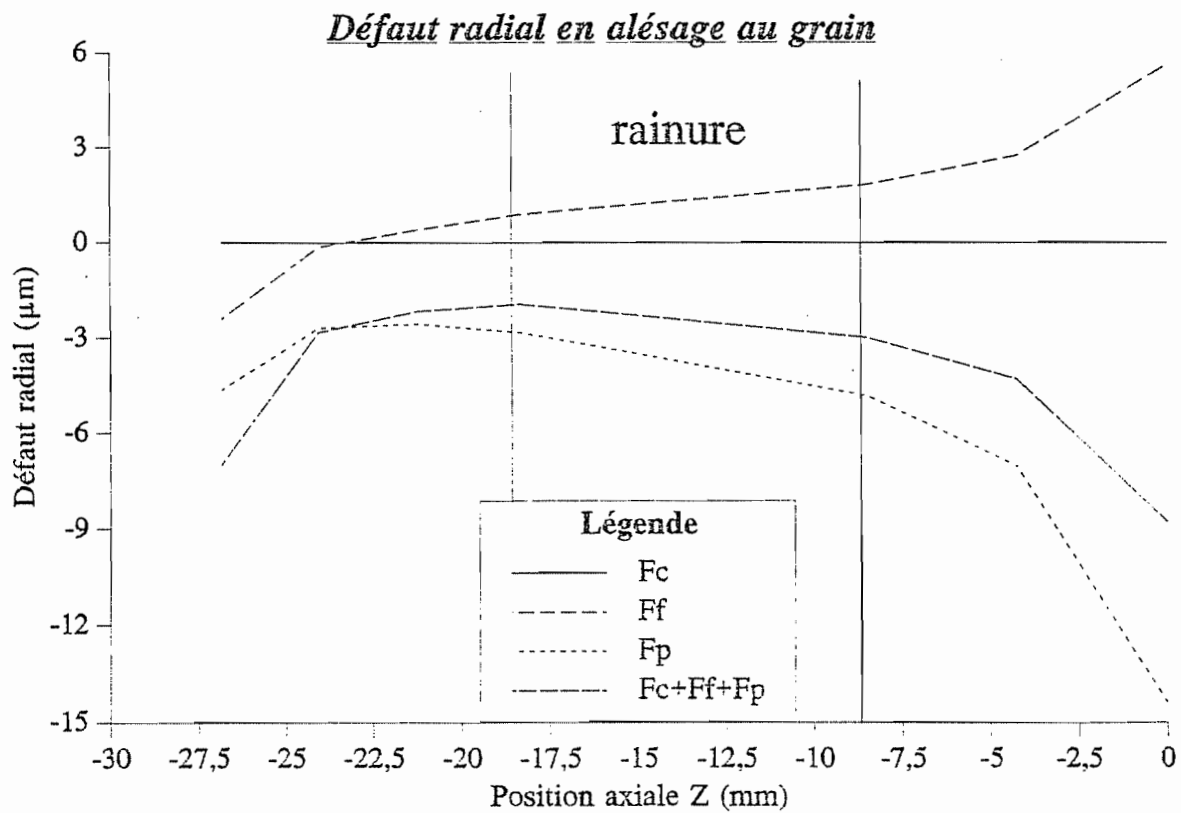


Figure 30 : Défaut radial sur une génératrice du baladeur

- Références -

- [1] J.-F. DEBONGNIE - *Effet de la souplesse de la contre-pointe sur le défaut de cylindricité des pièces tournées*
ULg, Faculté des Sciences Appliquées, L.M.F.
Rapport LMF/D38 , octobre 1995