
ZZZZ120 - Calcul d'un assemblage goujon-bride

Résumé :

Ces deux tests ont pour but de valider les deux macro-commandes `MACR_GOUJ2E_MAIL` et `MACR_GOUJ2E_CALC` ainsi que de la commande `POST_GOUJ2E`. Dans la modélisation A nous calculons de manière globale un assemblage goujon-bride dont la bride comporte un haut de bride. La modélisation B diffère de la modélisation A par le fait que la bride n'a pas de haut de bride. Dans les deux modélisations nous calculons les efforts de cisaillement de chacun des filets.

Il s'agit d'un problème de mécanique stationnaire non linéaire modélisé en 2D axisymétrique pour la bride et en 3D (éléments de poutre) pour le goujon.

La solution de référence est numérique, elle a été obtenue avec l'outil métier `GOUJ2ECH`.

Les tests présentent les intérêts suivants :

- les macro-commandes `MACR_GOUJ2E_MAIL` et `MACR_GOUJ2E_CALC` ainsi que de la commande `POST_GOUJ2E` sont validées,
- certains des filets sont manquants,
- deux types de bride (avec et sans haut de bride) sont testés.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

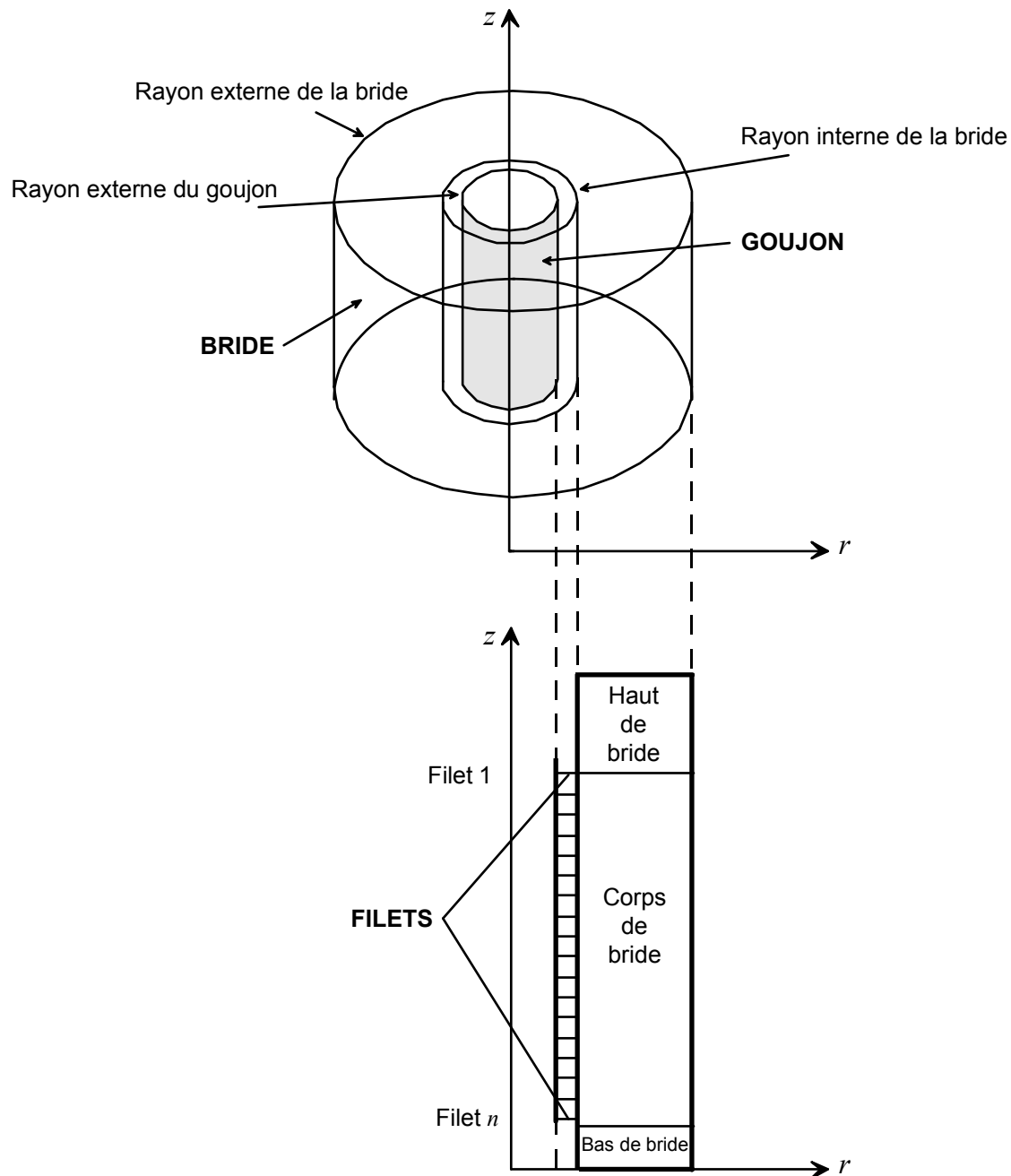


Figure 1.1-a

1.2 Propriétés des matériaux

	Matériau	Module de Young	Coefficient de Poisson
Goujon	40NCDV	$E = 191139 \text{ MPa}$	$\nu = 0,3$
Bride	16MND5	$E = 190000 \text{ MPa}$	$\nu = 0,3$

Pour les filets on dispose de six courbes de tractions, trois courbes correspondant à la modélisation A (avec un haut de bride) :

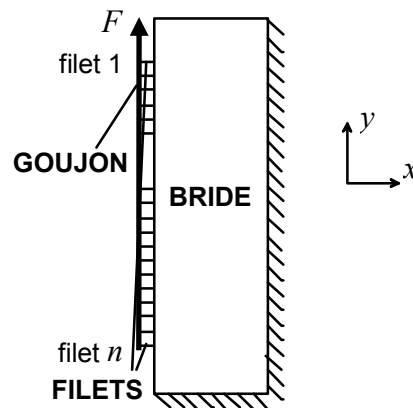
Premier filet		Second filet		Filet courant	
$u - v (m)$	$q = f(u - v)$ MN/m	$(u - v (m))$	$q = f(u - v)$ MN/m	$(u - v (m))$	$q = f(u - v)$ MN/m
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.6497D-05	2.6890D+01	1.6010D-05	2.5140D+01	1.6010D-05	2.5140D+01
2.3835D-05	3.8844D+01	2.3133D-05	3.6324D+01	2.3133D-05	3.6324D+01
3.1201D-05	5.0755D+01	3.0284D-05	4.7569D+01	3.0284D-05	4.7569D+01
3.8721D-05	6.2433D+01	3.7597D-05	5.9212D+01	3.7597D-05	5.9212D+01
4.6847D-05	7.3269D+01	4.5542D-05	7.1024D+01	4.5542D-05	7.1024D+01
5.8812D-05	8.4467D+01	5.7342D-05	8.3503D+01	5.7342D-05	8.3503D+01
7.3112D-05	9.2437D+01	7.1528D-05	9.1787D+01	7.1528D-05	9.1787D+01
8.8706D-05	9.8271D+01	8.7040D-05	9.8055D+01	8.7040D-05	9.8055D+01
9.6809D-05	1.0075D+02	9.5114D-05	1.0075D+02	9.5114D-05	1.0075D+02
1.0511D-04	1.0299D+02	1.0338D-04	1.0315D+02	1.0338D-04	1.0315D+02

et trois associées à la modélisation B (sans haut de bride) :

Premier filet		Second filet		Filet courant	
$u - v (m)$	$q = f(u - v)$ MN/m	$(u - v (m))$	$q = f(u - v)$ MN/m	$u - v (m)$	$q = f(u - v)$ MN/m
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.4119D-05	13.6330	1.4281D-05	19.8762	1.67633D-05	29.78608
1.8273D-05	17.6418	1.8482D-05	25.7282	2.51686D-05	43.54046
2.6426D-05	25.5596	2.6733D-05	37.2252	3.37170D-05	58.44226
3.4650D-05	33.6343	3.5071D-05	49.0023	4.31017D-05	74.31599
4.3138D-05	42.4594	4.3757D-05	61.6887	5.46760D-05	87.81715
5.2080D-05	52.4101	5.3010D-05	73.9464	6.87233D-05	96.55312
6.1709D-05	63.4097	6.3161D-05	83.5238	8.39777D-05	103.21506
7.2109D-05	73.9736	7.4294D-05	90.6382	1.00084D-04	108.63585
8.3500D-05	82.0174	8.6551D-05	96.1680	1.16889D-04	113.05545
9.5698D-05	87.6548	9.9798D-05	100.7534		
1.0908D-04	91.0197				

1.3 Conditions aux limites et chargement

Les conditions aux limites sont de type : blocage des déplacements suivant x et y sur le côté extérieur et à la base de la bride.



Conditions aux limites 2

La force de traction totale F , qui s'exerce sur le goujon est de 5 MN. Celle-ci est appliquée en cinq incréments de 1 MN.

1.4 Caractéristiques de l'assemblage goujon-bride

Dans l'outil métier GOUJ2ECH, les données sont entrées par l'intermédiaire d'un fichier de données qui se présente sous la forme suivante :

Nombre de filets en prise	56
Hauteur de bride (en m) :	0.225
Rayon ext. brode (en m) :	0.140
Force appliquée (en mn, traction > 0) :	5.0
Nombre d'incrément de charge :	5
Assemblage (Nominal, Helicoil, ...) :	nominal
Géométrie (M64, M155, M180, ...) :	M155
Haut de bride (avec, sans) :	avec (modélisation A), sans (modélisation B)
Jeu (Maxi, Mini, ...) :	maxi
Comportement (élastique, élastoplastique, ...) :	élastoplastique
Matériau goujon (40NCDV, ...) :	40NCDV
Matériau bride (16MND5, ...) :	16MND5
Section du goujon (M ²) :	0.01704
Rayon extérieur du goujon (M) :	0.0736478
Epaisseur (M) :	0.004
Rayon intérieur de la bride (M) :	0.080
Zones et particularités des filets	3 4
	manquant

Remarque :

| Dans l'exemple ci-dessus les filets 3 et 4 sont manquants.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La procédure de calcul des goujons est décrite en [bib1] et elle est implantée dans le logiciel GOUJ2ECH [bib2]. Cette procédure est constituée de deux parties principales :

- Calcul local par éléments finis (2D axisymétrique) filet par filet
Sur la [Figure 1.1-a] on a représenté un filet où u correspond au déplacement du goujon, v au déplacement de la bride et q au cisaillement supporté par le filet.

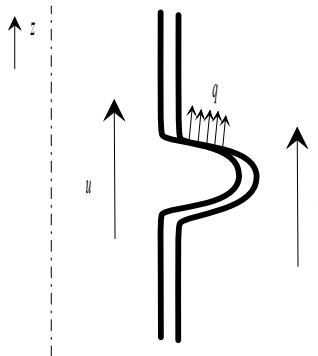


Figure 2.1-a : Calcul d'un filet

Pour chaque filet on calcule $q = f(u - v)$ où f est une fonction non linéaire pour un chargement monotone. On considère plusieurs types de filet et donc on obtient plusieurs types de courbes q : 1/ q premier filet, 2/ q deuxième filet, 3/ q filet courant, 4/ q filet manquant, 5/ q filet tronqué, 6/ q filet hors tolérance.

Pour chacun des types de goujon calculés les courbes q sont stockées dans une base de données. Cette base de données alimente le logiciel qui permet le calcul global du goujon.

- Calcul global du goujon avec la méthode de la double échelle avec le logiciel **GOUJ2ECH**
Sur la Figure 1.2 on a représenté la modélisation globale de la structure, il s'agit d'une modélisation 1D . Il s'agit de deux poutres en cisaillement vertical et qui sont reliées entre elles par des ressorts qui ont pour comportement les différentes courbes q . Le logiciel **GOUJ2ECH** actuel résout le problème suivant :

$$\begin{aligned} \text{poutre} \quad & \int_0^L (E S u' w' + f(u - v) w) dz = F w(0) \\ \text{massif} \quad & \int_0^L (A v w' + B v w - f(u - v) w) dz = 0 \quad + C.L. \quad \forall w \end{aligned}$$

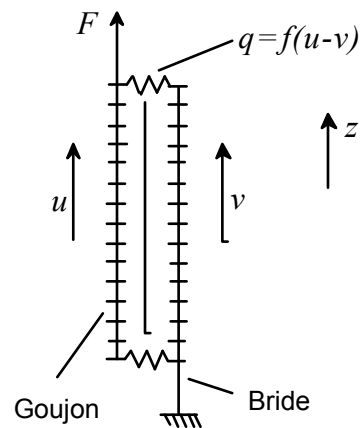


Figure 2.1-b - Modélisation du goujon et de la bride.

Les conditions aux limites de la bride peuvent varier. C'est le terme Bvw de la formulation variationnelle du massif qui varie en fonction des conditions aux limites, [bib2].
Le logiciel **GOUJ2ECH** (via l'environnement Anthemix) calcule l'effort subi par chaque filet, [bib2].

2.2 Résultats de référence

Réaction exercée sur les filets numéros 1, 2, 5, 6, 7, 28, 55, 56 lorsque la force de traction exercée sur le goujon est de 1 MN et 5 MN .

Courbes Réaction des filets en fonction du numéros des filets lorsque la force de traction exercée sur le goujon est de 1 MN et 5 MN .

Courbes Réaction cumulée des filets divisée par la force de traction exercée en fonction du numéros des filets lorsque la force de traction exercée sur le goujon est de 1 MN et 5 MN .

2.3 Incertitude sur la solution

Solution numérique obtenue avec le logiciel **GOUJ2ECH**.
Il n'y a pas de solution analytique.

2.4 Références bibliographiques

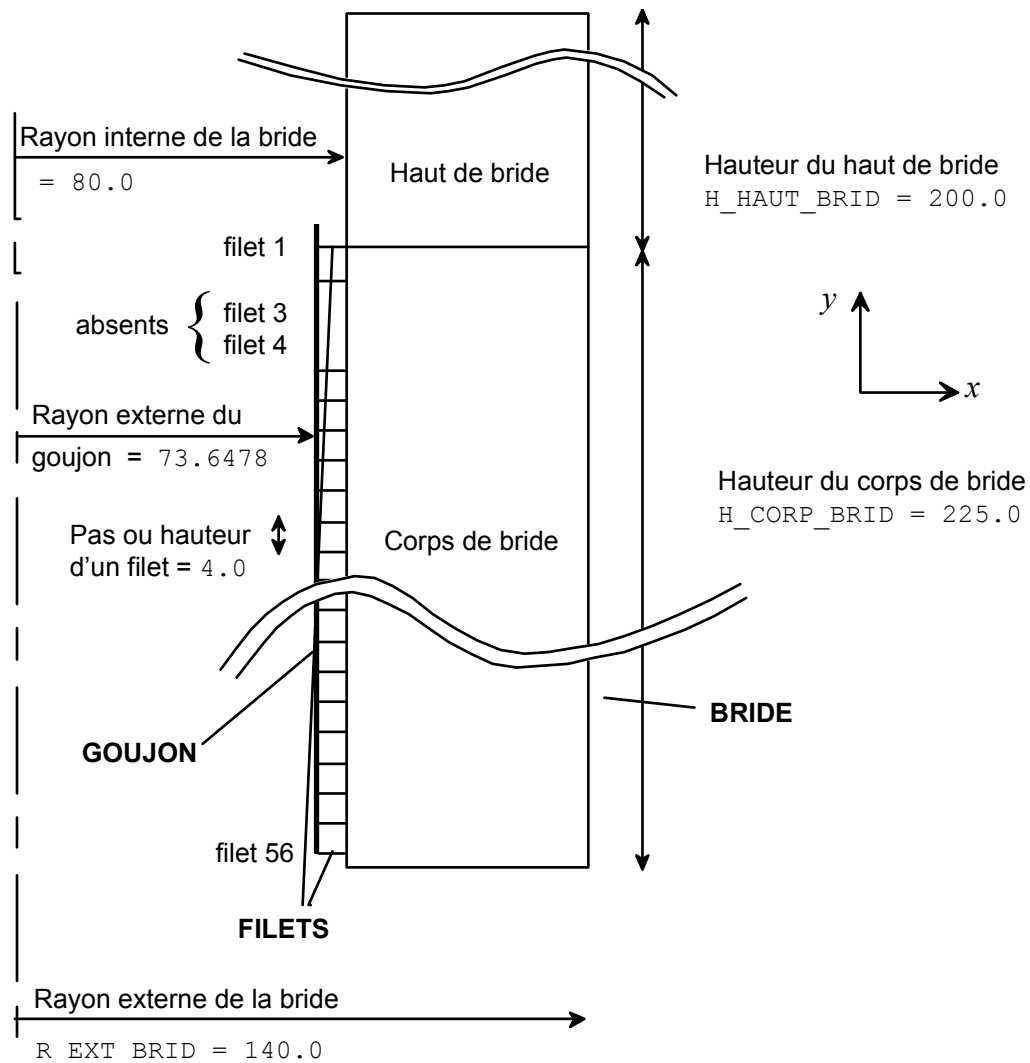
- 1) S. ANDRIEUX, A. LEGER, Y. WADIER : Une méthode à deux échelles pour le calcul des assemblages filetés. Note interne EDF HI-73/5825, 1987
- 2) S. ANDRIEUX, A. LEGER, S. GEISSEL, F. VOLDOIRE : GOUJ2ECH - Méthode à deux échelles de calcul d'assemblages filetés, Notice d'utilisation. Note interne EDF, HI-73-6241 indice C, 1994

3 Modélisation A

3.1 Caractéristique de la modélisation

Ce calcul est réalisé en 2D axisymétrique, contrairement à la solution de référence qui l'est en 1D.

axis (SEG2, SEG3, TRIA6, QUAD8)



Numéros des filets	X	Y	
1	73.6478	220.00	N1954
2	73.6478	216.00	N1953
5	73.6478	204.00	N1950
6	73.6478	200.00	N1949
7	73.6478	196.00	N1948
28	73.6478	112.00	N1927
55	73.6478	4.00	N1900
56	73.6478	0.00	N1899

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1962.

Nombre de mailles et types : 110 SEG2, 109 SEG3, 154 TRIA6, 487 QUAD8.

3.3 Propriétés des matériaux

Pour le goujon, matériau 40NCDV :
 $E = 191139 \text{ MPa}$; $\nu = 0,3$.

Pour la bride, matériau 16MND5 :

Le module de Young du matériau constituant la bride doit être multiplié par 2π . Ceci est dû au fait que la bride est modélisée en 2D axis alors que le goujon l'est en 3D (modélisé en poutre).
 $E = 1193800 \text{ MPa}$; $\nu = 0,3$.

Pour les filets on dispose de trois courbes de traction :

Premier filet		Second filet		Filet courant	
$u - v$ (mm)	$q = f(u - v)$ (N)	$u - v$ (mm)	$q = f(u - v)$ (N)	$u - v$ (mm)	$q = f(u - v)$ (N)
1.6497D-02	107.560E+03	1.6010D-02	100.560E+03	1.6010D-02	100.560E+03
2.3835D-02	155.376E+03	2.3133D-02	145.296E+03	2.3133D-02	145.296E+03
3.1201D-02	203.020E+03	3.0284D-02	190.208E+03	3.0284D-02	190.208E+03
3.8721D-02	249.732E+03	3.7597D-02	236.140E+03	3.7597D-02	236.140E+03
4.6847D-02	293.076E+03	4.5542D-02	284.096E+03	4.5542D-02	284.096E+03
5.8812D-02	337.868E+03	5.7342D-02	334.012E+03	5.7342D-02	334.012E+03
7.3112D-02	369.748E+03	7.1528D-02	367.148E+03	7.1528D-02	367.148E+03
8.8706D-02	393.084E+03	8.7040D-02	392.220E+03	8.7040D-02	392.220E+03
9.6809D-02	403.000E+03	9.5114D-02	403.000E+03	9.5114D-02	403.000E+03
1.0511D-01	411.960E+03	1.0338D-01	412.600E+03	1.0338D-01	412.600E+03

Remarques :

Le déplacement relatif entre le goujon et la bride est ici indiqué en millimètre, alors que dans le problème de référence il l'est en mètre.
L'unité de l'effort de cisaillement est ici le Newton, alors que dans le problème de référence l'effort de cisaillement est donné en MN / m , [bib1], [bib2].

3.4 Grandeurs testées et résultats

Effort de cisaillement en Newton au premier pas de charge

Identification	Référence	Code_Aster	% différence
réaction sur le filet 1	0.920783E+05	0.935989E+05	1.651
réaction sur le filet 2	0.818096E+05	0.882044E+05	0.287
réaction sur le filet 5	0.632683E+05	0.613744E+05	-2.993
réaction sur le filet 6	0.576444E+05	0.544912E+05	-5.470
réaction sur le filet 7	0.525322E+05	0.489092E+05	-6.897
réaction sur le filet 28	0.852649E+04	0.103178E+05	21.009
réaction sur le filet 55	0.954627E+04	0.844846E+04	-11.500
réaction sur le filet 56	0.103622E+05	0.956714E+04	-7.673

Effort de cisaillement en Newton au cinquième et dernier pas de charge

Identification	Référence	Code_Aster	% différence
réaction sur le filet 1	3.70668E+05	3.75966E+05	1.429
réaction sur le filet 2	3.59170E+05	3.63799E+05	1.289
réaction sur le filet 5	3.14594E+05	3.09596E+05	-1.589
réaction sur le filet 6	2.94781E+05	2.84261E+05	-3.569
réaction sur le filet 7	2.73743E+05	2.55513E+05	-6.660
réaction sur le filet 28	4.43446E+04	5.31170E+04	19.782
réaction sur le filet 55	4.80746E+04	4.31747E+04	-11.500
réaction sur le filet 56	5.21624E+04	4.88871E+04	-6.279

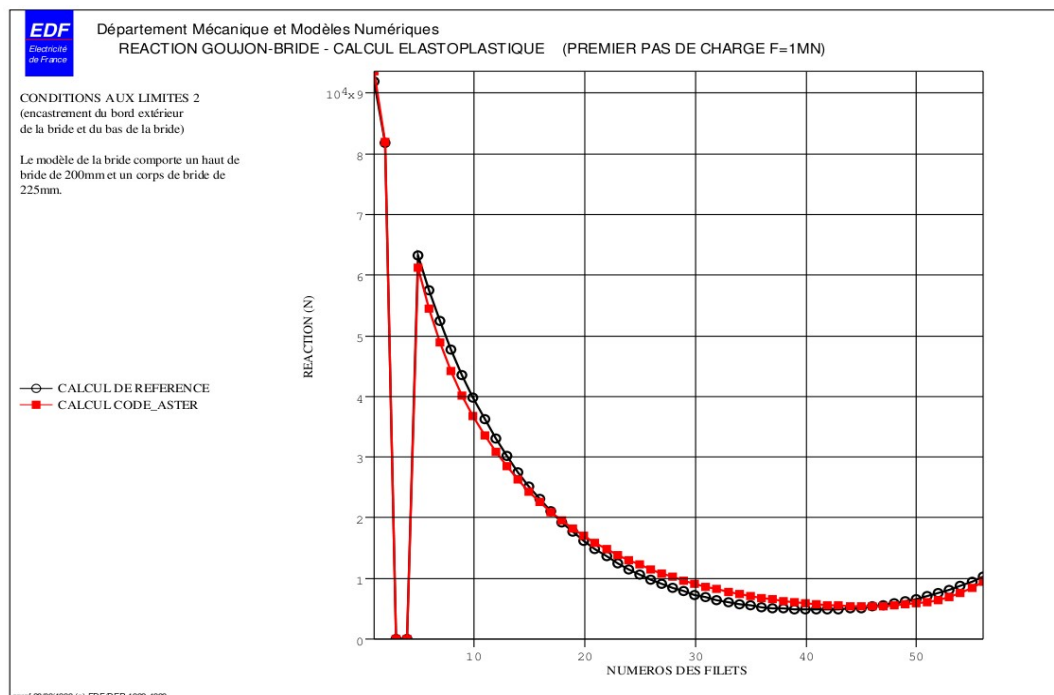


Figure 4.1-a : Réaction goujon-bride au premier pas de charge

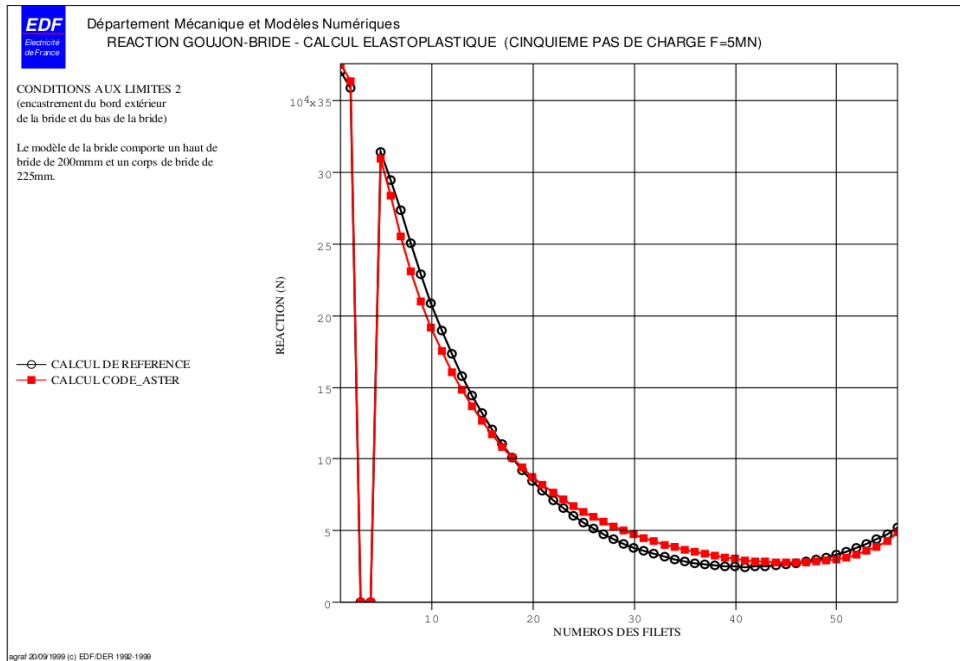


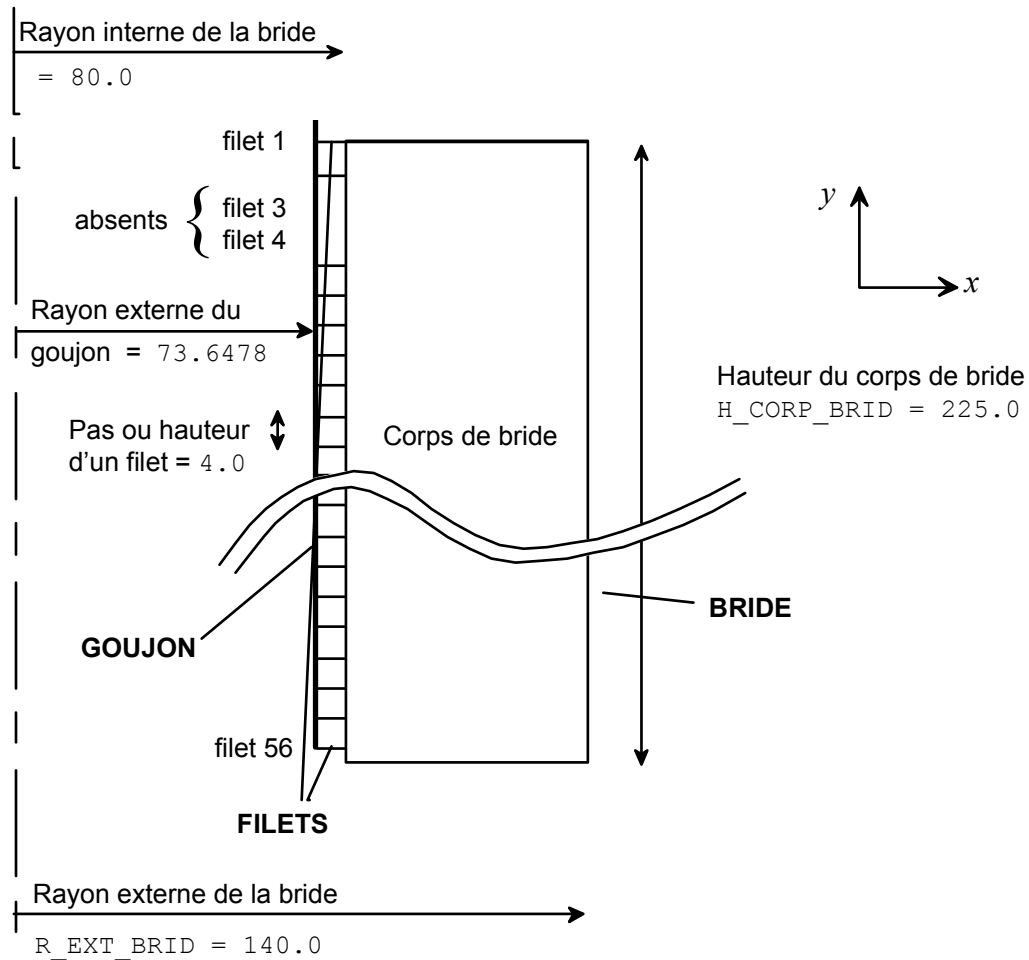
Figure 4.1-b : Réaction goujon-bride au cinquième pas de charge

4 Modélisation B

4.1 Caractéristique de la modélisation

Idem modélisation A, sans haut de bride.

axis (SEG2, SEG3, TRIA6, QUAD8)



Numéros des filets	X	Y	
1	73.6478	220.00	N1469
2	73.6478	216.00	N1468
5	73.6478	204.00	N1465
6	73.6478	200.00	N1464
7	73.6478	196.00	N1463
28	73.6478	112.00	N1442
55	73.6478	4.00	N1415
56	73.6478	0.00	N1414

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1477.

Nombre de mailles et types : 110 SEG2, 170 SEG3, 130 TRIA6, 352 QUAD8.

4.3 Propriétés des matériaux

Pour le goujon, matériau 40NCDV :
 $E = 191139 \text{ MPa}$; $\nu = 0,3$.

Pour la bride, matériau 16MND5 :

Le module de Young du matériau constituant la bride doit être multiplié par 2π . Ceci est dû au fait que la bride est modélisée en 2D axis alors que le goujon l'est en 3D (modélisé en poutre).

$E = 1193800 \text{ MPa}$; $\nu = 0,3$.

Pour les filets on dispose de trois courbes de traction :

Premier filet		Second filet		Filet courant	
$u - v$ (mm)	$q = f(u - v)$ (N)	$u - v$ (mm)	$q = f(u - v)$ (N)	$u - v$ (mm)	$q = f(u - v)$ (N)
1.4119E-02	64.5154E+03	1.4281E-02	79.5058E+03	1.67633E-02	119.14432E+03
1.8273E-02	83.4966E+03	1.8482E-02	102.8924E+03	2.51686E-02	174.16184E+03
2.6426E-02	120.7508E+03	2.6733E-02	148.8272E+03	3.37170E-02	233.76904E+03
3.4650E-02	158.3295E+03	3.5071E-02	195.2463E+03	4.31017E-02	297.26396E+03
4.3138E-02	197.1145E+03	4.3757E-02	243.6027E+03	5.46760E-02	351.26860E+03
5.2080E-02	237.9740E+03	5.3010E-02	295.1158E+03	6.87233E-02	386.21248E+03
6.1709E-02	253.6388E+03	6.3161E-02	334.0952E+03	8.39777E-02	412.86024E+03
7.2109E-02	295.8944E+03	7.4294E-02	362.5528E+03	10.00835E-02	434.54340E+03
8.3500E-02	328.0696E+03	8.6551E-02	384.6720E+03	11.68892E-02	452.22180E+03
9.5698E-02	350.6192E+03	9.9798E-02	403.0136E+03		
10.9076E-02	364.0788E+03				

Remarques :

Le déplacement relatif entre le goujon et la bride est ici indiqué en millimètre, alors que dans le problème de référence il l'est en mètre.

L'unité de l'effort de cisaillement est ici le Newton, alors que dans le problème de référence l'effort de cisaillement est donné en MN / m , [bib1], [bib2].

4.4 Grandeurs testées et résultats

Effort de cisaillement en Newton au premier pas de charge

Identification	Référence	Code_Aster	% différence
réaction sur le filet 1	5.53271E+04	5.55046E+04	0.321
réaction sur le filet 2	7.33944E+04	6.48494E+04	-11.643
réaction sur le filet 5	7.13611E+04	6.25512E+04	-12.346
réaction sur le filet 6	6.46135E+04	5.56557E+04	-13.864
réaction sur le filet 7	5.85172E+04	5.00993E+04	-14.385
réaction sur le filet 28	8.35972E+03	1.12944E+04	35.105
réaction sur le filet 55	1.00588E+04	1.02133E+04	1.536
réaction sur le filet 56	1.10041E+04	1.17140E+04	6.451

Effort de cisaillement en Newton au cinquième et dernier pas de charge

Identification	Référence	Code_Aster	% différence
réaction sur le filet 1	2.97536E+05	2.57685E+05	-13.394
réaction sur le filet 2	3.43887E+05	3.20998E+05	-6.656
réaction sur le filet 5	3.35310E+05	3.07108E+05	-8.411
réaction sur le filet 6	3.12992E+05	2.77724E+05	-11.268
réaction sur le filet 7	2.90708E+05	2.50588E+05	-13.801
réaction sur le filet 28	4.27787E+04	5.70916E+04	33.458
réaction sur le filet 55	5.04395E+04	5.13517E+04	1.808
réaction sur le filet 56	5.51691E+04	5.88938E+04	6.751

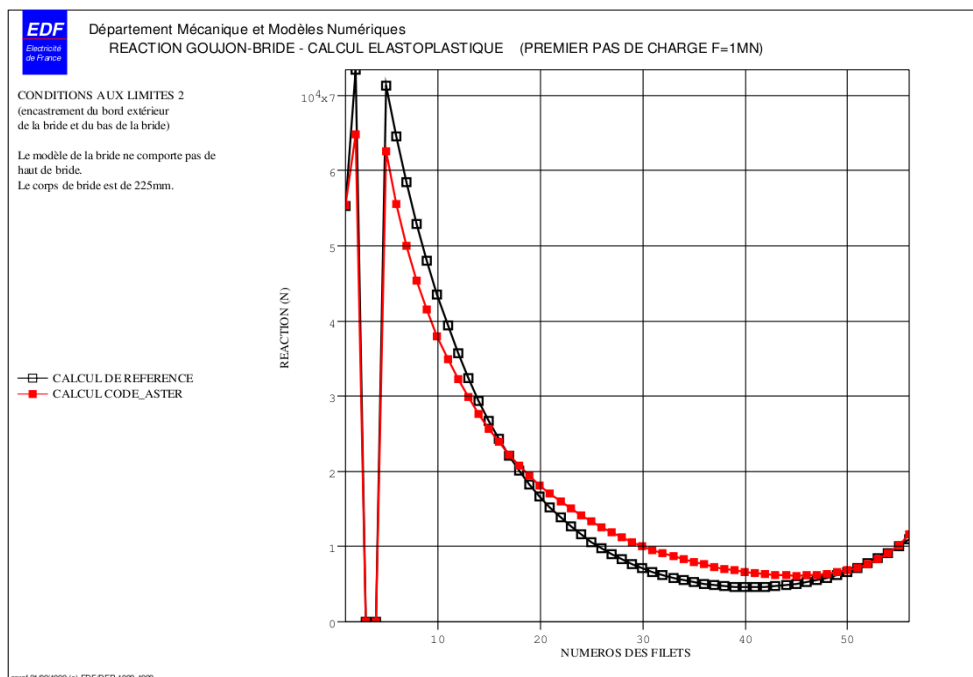


Figure 6.1-a : Réaction goujon-bride au premier pas de charge

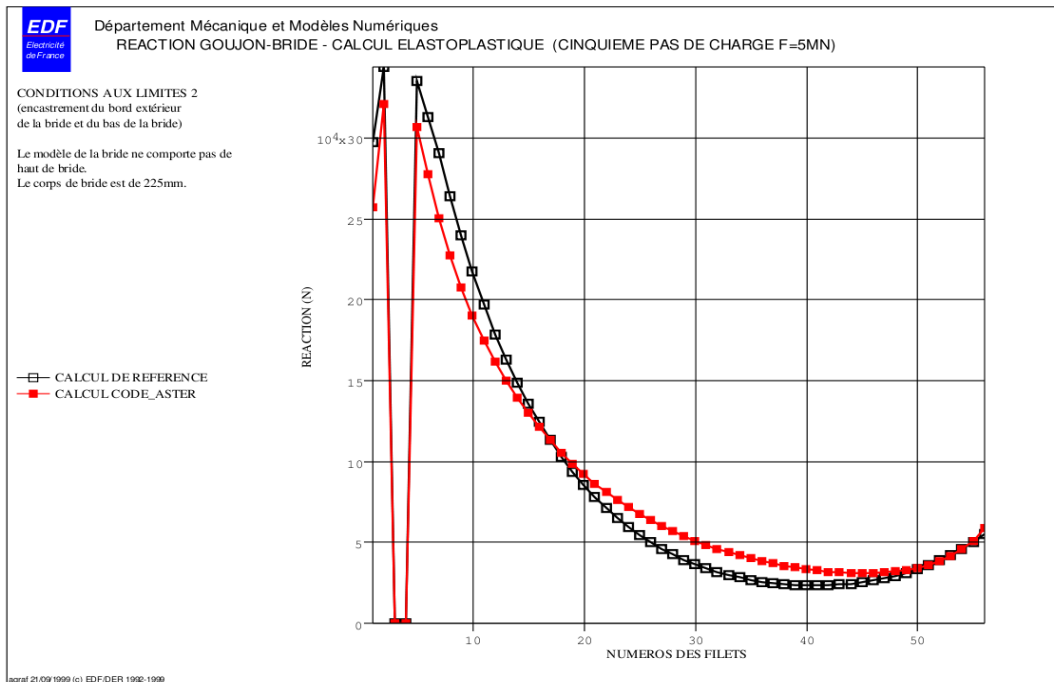


Figure 6.1-b : Réaction goujon-bride au cinquième pas de charge

5 Synthèse des résultats

Compte tenu des différences de modélisation entre le problème de référence et la modélisation A, les résultats de celle-ci sont très satisfaisants.

Les résultats de la modélisation B sont un peu moins proches, mais restent satisfaisants. Dans ce dernier cas les écarts s'expliquent par le fait que dans la méthode de référence, la répartition transversale de la composante axiale des déplacements dans la bride est projetée sur les solutions d'une poutre infinie en traction et d'une poutre infinie en cisaillement. Or en haut de la bride, cette hypothèse n'est pas vérifiée lorsqu'il n'y a pas de haut de bride.