Rotor 16

- Français
- English

Downloadable files
×

Open access

Git project

About

Rotor 16 is part of a research program to study the effect of weight flow per unit annulus area on the performance of axial-flow fan stages. A series of three stage: rotor 11, 16 and 17 were designed with a weight flow per unit annulus area of 198, 178, and 208 kilograms per second per square meter. All three stages were designed to produce a pressure ratio of 1.57, and all had the same meridional flow path geometry.

- Original technical report [1]:

```
@TechReport{moore1973design,
  author           = {Moore, R. D. and Urasek, Donald C. and Kovlch,
George},
  date             = {1973},
  institution      = {NASA Lewis Research Center Cleveland, OH, United
States},
  title            = {Performance of transonic fan stage with weight flow
per unit annulus area of 178 kilograms per sercond per square meter (36.5
(lb/sec)/ft²)},
  number           = {NASA-TM X-2904},
  url              = {https://ntrs.nasa.gov/citations/19740001906},
}
```

- Picture :

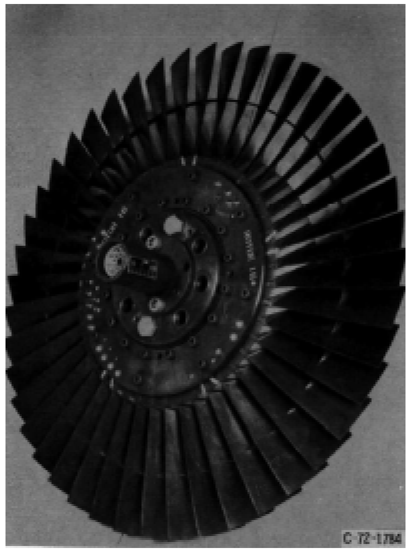


Fig1. https://ntrs.nasa.gov/citations/19740001906 p.64

Useful documents

- downloadable models (Git project)
- NASA technical report (.pdf)
- geometrical parameters file (.csv), usable as input of OpenMCAD[2] to generate reference blade models.

Reference blade

The **reference blade** is defined with multiple-circular arc profiles[3] given in the original NASA report[1]. Corresponding models are computed with the open-source code OpenMCAD[2].

Geometry

The geometry of rotor 16 is described in the original NASA report by the following tables. The length are in centimeters and the angles in degrees.

TABLE IV. - BLADE GEOMETRY FOR ROTOR 16

RP	PERCENT SPAN	RADII RI	RO	BLADE ANGLES KIC	KTC	KOC	DELTA INC	CONE ANGLE
TIP	0.	25.204	24.905	67.60	66.34	61.49	2.51	-9.339
1	5.	24.683	24.364	66.48	65.43	60.78	2.75	-9.519
2	10.	24.123	23.824	65.30	64.30	60.02	3.00	-8.557
3	30.	21.814	21.662	60.91	58.82	56.21	4.07	-3.692
4	45.	20.034	20.041	57.80	54.80	51.78	4.90	0.161
5	48.	19.733	19.771	57.28	54.09	50.84	5.04	0.819
6	50.	19.430	19.501	56.76	53.37	49.85	5.18	1.482
7	53.	19.126	19.231	56.24	52.64	48.79	5.32	2.149
8	55.	18.821	18.960	55.72	51.89	47.68	5.46	2.817
9	70.	16.946	17.339	52.48	47.42	39.33	6.29	7.105
10	90.	14.280	15.178	47.87	41.70	21.76	7.35	13.772
11	95.	13.570	14.637	46.64	40.42	15.40	7.59	15.655
HUB	100.	12.700	14.097	45.12	39.00	8.18	7.85	19.355

RP	BLADE THICKNESSES TI	TM	TO	AXIAL DIMENSIONS ZIC	ZMC	ZTC	ZOC
TIP	0.051	0.151	0.051	1.016	1.891	2.284	2.839
1	0.051	0.161	0.051	0.978	1.892	2.263	2.879
2	0.051	0.171	0.051	0.935	1.894	2.239	2.923
3	0.051	0.213	0.051	0.756	1.895	2.101	3.111
4	0.051	0.247	0.051	0.629	1.895	1.950	3.258
5	0.051	0.252	0.051	0.608	1.894	1.921	3.284
6	0.051	0.258	0.051	0.585	1.893	1.889	3.311
7	0.051	0.263	0.051	0.562	1.892	1.857	3.339
8	0.051	0.269	0.051	0.538	1.890	1.822	3.367
9	0.051	0.304	0.051	0.394	1.878	1.591	3.551
10	0.051	0.355	0.051	0.168	1.843	1.190	3.832
11	0.051	0.369	0.051	0.096	1.827	1.065	3.904
HUB	0.051	0.386	0.051	0.000	1.804	0.902	3.977

Aerodynamic design

	unit	values
pressure ratio	[-]	1.57
mass flow	[kg/s]	26.5
tip speed	[m/s]	425
tip solidity	[-]	1.3
aspect ratio	[-]	2.6
number of blades	[-]	44
rotative speed	[rad/s]	1686

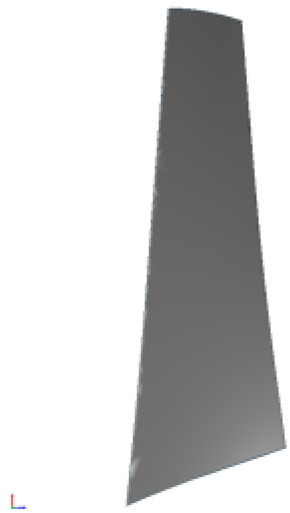
Material properties

The original material of the rotor 16 is not defined in the NASA report. A generic titanium Ti-6Al-4V is considered:

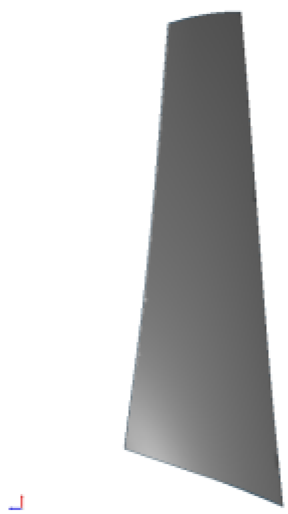
	unité	valeurs
alloy	[-]	Ti-6Al-4V
Young's modulus	[GPa]	108
density	[kg/m3]	4400
Poisson's ratio	[-]	0.34
yield stress	[GPa]	0.824

CAD model

The CAD model is computed with the open source code OpenMCAD[2].



pressure side



suction side

Natural frequencies

First three natural frequencies (with clamped root) for the mesh computed with OpenMCAD[2]:

Mode	Type	Natural angular frequency (rad/sec)	Natural frequency (Hz)
1	1B	1456.25	231.77
2	2B	5431.61	864.469
3	1T	7997.11	1272.78

Initial blade

The **initial blade** is defined with in-house LAVA parameters[4] computed from the reference blade CAD model. The initial blade is usually used as starting point for an optimization process. Its geometry is similar to the one of the reference blade.

Natural frequencies

First three natural frequencies (with clamped root)

- from the whole mesh:

Mode	Type	Natural angular frequency (rad/sec)	Natural frequency (Hz)
1	1B	1454.87	231.55
2	2B	5429.48	864.129
3	1T	8000.38	1273.3

- from the reduced order model:

Mode	Type	Natural angular frequency (rad/sec)	Natural frequency (Hz)
1	1B	1454.90	231.555
2	2B	5431.53	864.455
3	1T	8002.64	1273.66

Fichiers téléchargeables
×

Libre accès

lien vers le projet Git

À propos

Le rotor 16 fait partie d'un programme de recherche visant à étudier l'effet du débit massique par unité de surface annulaire sur les performances des soufflantes à flux axiaux. Une série de trois étages a été conçue, comprenant le rotor 11, 16 et 17 avec un débit massique par unité de surface annulaire de 198, 178 et 208 kilogrammes par seconde par mètre carré. Les trois étages ont été conçus pour produire un rapport de pression de 1,57.

- Rapport technique original [1]:

```
@TechReport{moore1973design,
  author           = {Moore, R. D. and Urasek, Donald C. and Kovlch,
George},
  date             = {1973},
  institution      = {NASA Lewis Research Center Cleveland, OH, United
States},
  title            = {Performance of transonic fan stage with weight flow
per unit annulus area of 178 kilograms per sercond per square meter (36.5
(lb/sec)/ft²)},
  number           = {NASA-TM X-2904},
  url              = {https://ntrs.nasa.gov/citations/19740001906},
```

```
}
```

- Photographie :

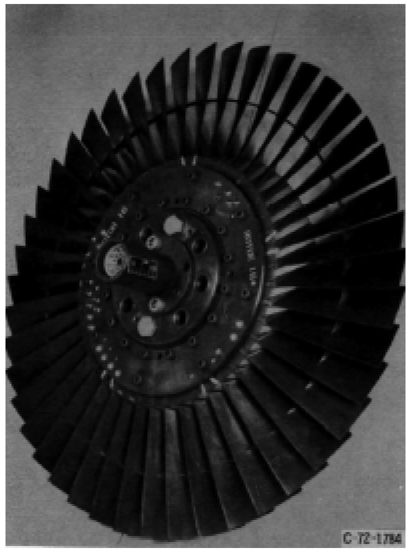


Fig1. https://ntrs.nasa.gov/citations/19740001906 p.64

Documents utiles

- modèles téléchargeables (lien vers projet Git)
- rapport technique original de la NASA (.pdf)
- fichier de paramètres géométriques (.csv), utilisable en entrée de OpenMCAD[2] pour générer l'aube de référence

Aube de référence

L'**aube de référence** est définie par des profils de type arcs circulaires multiples[3], donnés dans le rapport technique original de la NASA[1]. Les modèles associés sont obtenus avec le code en libre accès OpenMCAD[2].

Géométrie

La géométrie du rotor 16 est décrite dans le rapport d'origine de la NASA par les tableaux suivants. Les grandeurs sont en centimètres et en degrés.

TABLE IV. - BLADE GEOMETRY FOR ROTOR 16

RP	PERCENT SPAN	RADII RI	RADII RO	BLADE ANGLES KIC	BLADE ANGLES KTC	BLADE ANGLES KOC	DELTA INC	CONE ANGLE
TIP	0.	25.204	24.905	67.60	66.34	61.49	2.51	-9.339
1	5.	24.683	24.364	66.48	65.43	60.78	2.75	-9.519
2	10.	24.123	23.824	65.30	64.30	60.02	3.00	-8.557
3	30.	21.814	21.662	60.91	58.82	56.21	4.07	-3.692
4	45.	20.034	20.041	57.80	54.80	51.78	4.90	0.161
5	48.	19.733	19.771	57.28	54.09	50.84	5.04	0.819
6	50.	19.430	19.501	56.76	53.37	49.85	5.18	1.482
7	53.	19.126	19.231	56.24	52.64	48.79	5.32	2.149
8	55.	18.821	18.960	55.72	51.89	47.68	5.46	2.817
9	70.	16.946	17.339	52.48	47.42	39.33	6.29	7.105
10	90.	14.280	15.178	47.87	41.70	21.76	7.35	13.772
11	95.	13.570	14.637	46.64	40.42	15.40	7.59	15.655
HUB	100.	12.700	14.097	45.12	39.00	8.18	7.85	19.355

RP	BLADE THICKNESSES TI	BLADE THICKNESSES TM	BLADE THICKNESSES TO	AXIAL DIMENSIONS ZIC	AXIAL DIMENSIONS ZMC	AXIAL DIMENSIONS ZTC	AXIAL DIMENSIONS ZOC
TIP	0.051	0.151	0.051	1.016	1.891	2.284	2.839
1	0.051	0.161	0.051	0.978	1.892	2.263	2.879
2	0.051	0.171	0.051	0.935	1.894	2.239	2.923
3	0.051	0.213	0.051	0.756	1.895	2.101	3.111
4	0.051	0.247	0.051	0.629	1.895	1.950	3.258
5	0.051	0.252	0.051	0.608	1.894	1.921	3.284
6	0.051	0.258	0.051	0.585	1.893	1.889	3.311
7	0.051	0.263	0.051	0.562	1.892	1.857	3.339
8	0.051	0.269	0.051	0.538	1.890	1.822	3.367
9	0.051	0.304	0.051	0.394	1.878	1.591	3.551
10	0.051	0.355	0.051	0.168	1.843	1.190	3.832
11	0.051	0.369	0.051	0.096	1.827	1.065	3.904
HUB	0.051	0.386	0.051	0.000	1.804	0.902	3.977

Caractéristiques aérodynamiques

	unit	value
taux de compression	[-]	1,57
débit massique	[kg/s]	26,5
vitesse en tête	[m/s]	425
solidité en tête	[-]	1,3
allongement	[-]	2,6
nombre d'aubes	[-]	44
vitesse de rotation nominale ω_n	[rad/s]	1686

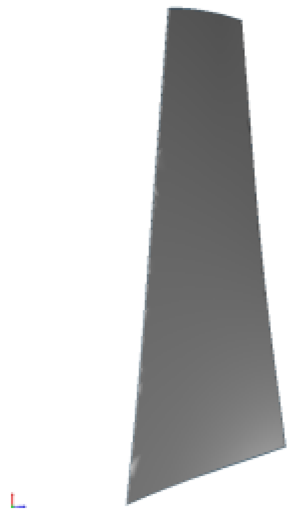
Propriétés matériau

Le matériau original du rotor 16 n'est pas défini dans le rapport de la NASA. Un alliage de titane Ti-6Al-4v est considéré :

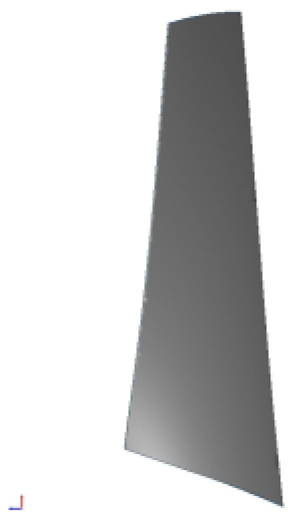
	unit	value
alliage	[-]	Ti-6Al-4v
module d'Young	[GPa]	108
masse volumique	[kg/m3]	4400
coefficient de Poisson	[-]	0,34
limite élastique	[GPa]	0,824

Modèle CAO

Le modèle CAO est obtenu avec OpenMCAD[2].



intrados



extrados

Fréquences propres

Fréquences des trois premiers modes (noeuds du pied d'aube encastrés) pour le maillage obtenu avec OpenMCAD[2] :

Mode	Type	Pulsation propre (rad/sec)	Fréquence propre (Hz)
1	1F	1456,25	231,77
2	2F	5431,61	864,469
3	1T	7997,11	1272,78

Diagramme de Campbell

Évolution des fréquences propres des 3 premiers modes, en fonction de la vitesse de rotation, pour le maillage obtenu avec OpenMCAD[2]:

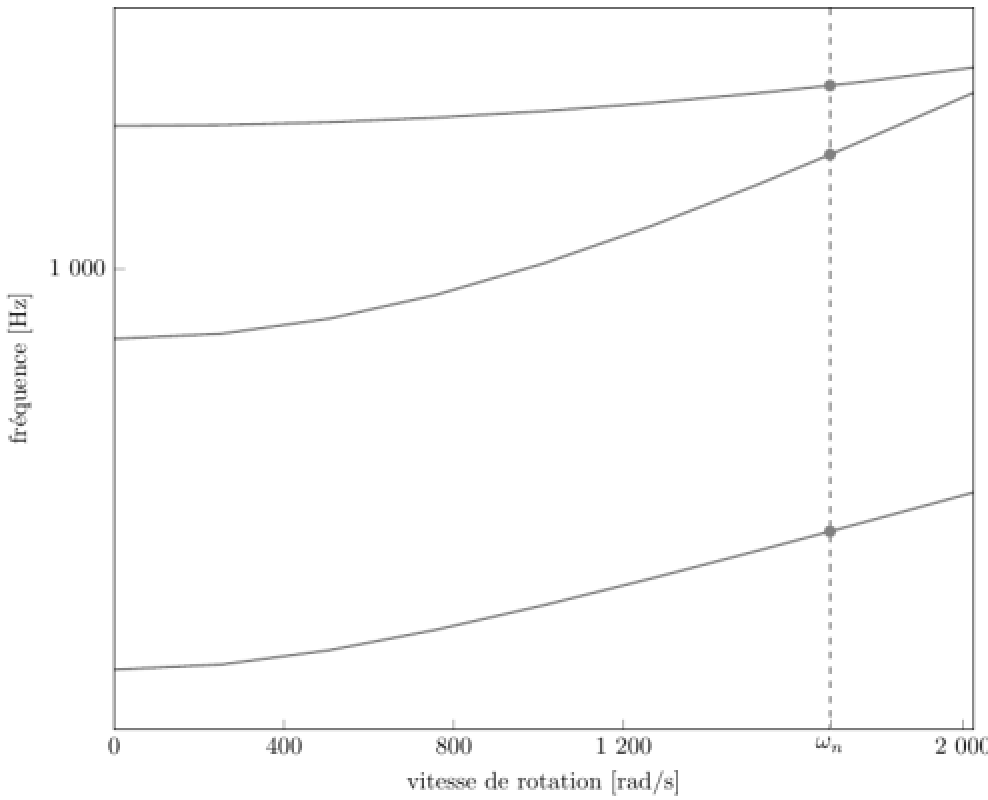


diagramme de Campbell calculé avec une précharge centrifuge linéaire, noeuds du pied d'aube encastrés (vitesse nominale ω_n = 1 686 rad/s)

- graphique (.pdf)
- données du Campbell (.csv)

Aube initiale

L'**aube initiale** est définie par des paramètres spécifiques au LAVA[4] obtenus à partir du modèle CAO de l'aube de référence. L'aube initiale est classiquement utilisée comme point de départ dans le cadre de procédures d'optimisation; sa géométrie est similaire à celle de l'aube de référence.

Fréquences propres

Fréquences des trois premiers modes (noeuds du pied d'aube encastrés),

- pour le maillage complet :

Mode	Type	Pulsation propre (rad/sec)	Fréquence propre (Hz)
1	1F	1454,87	231,55
2	2F	5429,48	864,129
3	1T	8000,38	1273,3

- pour le modèle réduit :

Mode	Type	Pulsation propre (rad/sec)	Fréquence propre (Hz)
1	1F	1454,90	231,555
2	2F	5431,53	864,455
3	1T	8002,64	1273,66

---

1. [a, b, c, d] Moore *et al* «Performance of transonic fan stage with weight flow per unit annulus area of 178 kilograms per sercond per square meter (36.5 (lb/sec)/ft²) » 1973. pdf
2. [a, b, c, d, e, f, g, h, i] Kojtych S., Batailly A. «OpenMCAD, an open blade generator: from Multiple-Circular-Arc profiles to Computer-Aided Design model» 2022. open source code
3. [a, b] Crouse *et al*. «A computer program for composing compressor blading from simulated circular-arc elements on conical surfaces » 1969. NASA-TN-D-5437. pdf
4. [a, b] Kojtych S. *et al*. «Methodology for the Redesign of Compressor Blades Undergoing Nonlinear Structural Interactions: Application to Blade-Tip/Casing Contacts » 2022. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 145, No. 5. pdf