

# Rotor 11

- [Français](#)
- [English](#)

Downloadable files

×

**Open access**

[Git project](#)

## About

Rotor 11 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 <sup>[1]</sup>:

```
@TechReport{kovich1973design,
  author      = {Kovich, George. and Moore, R. D. and Urasek, Donald
C.},
  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 198 kilograms per sercond per square meter (40.6
(lb/sec)/ft2)},
  number      = {NASA-TM X-2905},
  url         = {https://ntrs.nasa.gov/citations/19740001915},
}
```

- Picture :

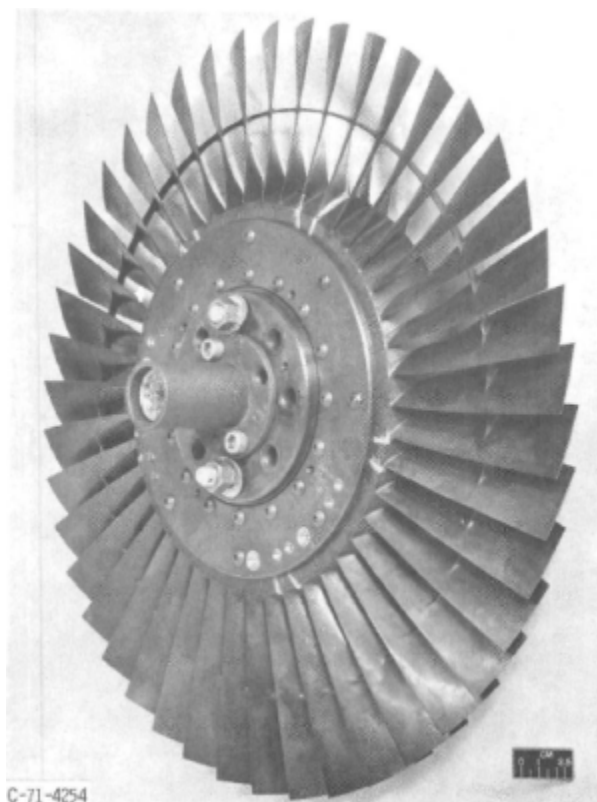


Fig1. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740001915> p.62

### Useful documents

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

## Reference blade

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

## Geometry

The geometry of rotor 11 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 11

RP	PERCENT RADII			BLADE ANGLES			DELTA INC	CONE ANGLE
	SPAN	RI	RO	KIC	KTC	KOC		
TIP	0.	25.197	24.816	64.37	62.97	57.71	2.53	-10.431
1	5.	24.628	24.280	63.11	61.83	57.26	2.78	-9.182
2	10.	24.060	23.744	61.90	60.58	56.65	3.04	-8.035
3	30.	21.741	21.600	57.36	54.88	53.15	4.13	-3.095
4	45.	19.960	19.992	54.13	50.29	48.79	4.95	0.651
5	48.	19.658	19.724	53.59	49.49	47.87	5.09	1.291
6	50.	19.356	19.456	53.05	48.68	46.91	5.22	1.935
7	53.	19.052	19.188	52.51	47.86	45.89	5.36	2.581
8	55.	18.747	18.920	51.97	47.02	44.82	5.49	3.232
9	70.	16.871	17.313	48.65	42.07	36.74	6.30	7.403
10	90.	14.202	15.169	44.05	34.00	20.19	7.28	13.919
11	95.	13.492	14.633	42.82	31.93	14.48	7.49	15.774
HUB	100.	12.700	14.097	41.44	29.85	8.02	7.69	18.485

RP	BLADE THICKNESSES			AXIAL DIMENSIONS			
	TI	TM	TO	ZIC	ZMC	ZTC	ZOC
TIP	0.051	0.152	0.051	1.046	2.039	2.444	3.116
1	0.051	0.162	0.051	1.002	2.040	2.415	3.156
2	0.051	0.172	0.051	0.955	2.040	2.381	3.198
3	0.051	0.215	0.051	0.761	2.027	2.191	3.363
4	0.051	0.248	0.051	0.621	2.021	2.003	3.502
5	0.051	0.254	0.051	0.598	2.019	1.967	3.527
6	0.051	0.260	0.051	0.574	2.018	1.930	3.553
7	0.051	0.265	0.051	0.550	2.017	1.892	3.579
8	0.051	0.271	0.051	0.526	2.016	1.852	3.606
9	0.051	0.306	0.051	0.377	2.003	1.588	3.774
10	0.051	0.356	0.051	0.147	1.989	1.143	4.050
11	0.051	0.370	0.051	0.079	1.983	1.013	4.116
HUB	0.051	0.385	0.051	0.000	1.972	0.861	4.179

## Aerodynamic design

	unit	value
pressure ratio	[-]	1.57
mass flow	[kg/s]	29.5
tip speed	[m/s]	425
tip solidity	[-]	1.3
aspect ratio	[-]	2.5
number of blades	[-]	44
nominal rotation speed $\omega_n$	[rad/s]	1686

## Material properties

The original material of the rotor 11 is not defined in the NASA report. A generic titanium Ti-6Al-4V is considered :

	unit	value
alloy	[-]	Ti-6Al-4V
Young's modulus	[GPa]	108
density	[kg/m <sup>3</sup> ]	4400
Poisson's ratio	[-]	0.34
yield stress	[GPa]	0.824

## CAD model

The CAD model is computed with the open source code OpenMCAD<sup>[2]</sup>.



pressure side

suction side

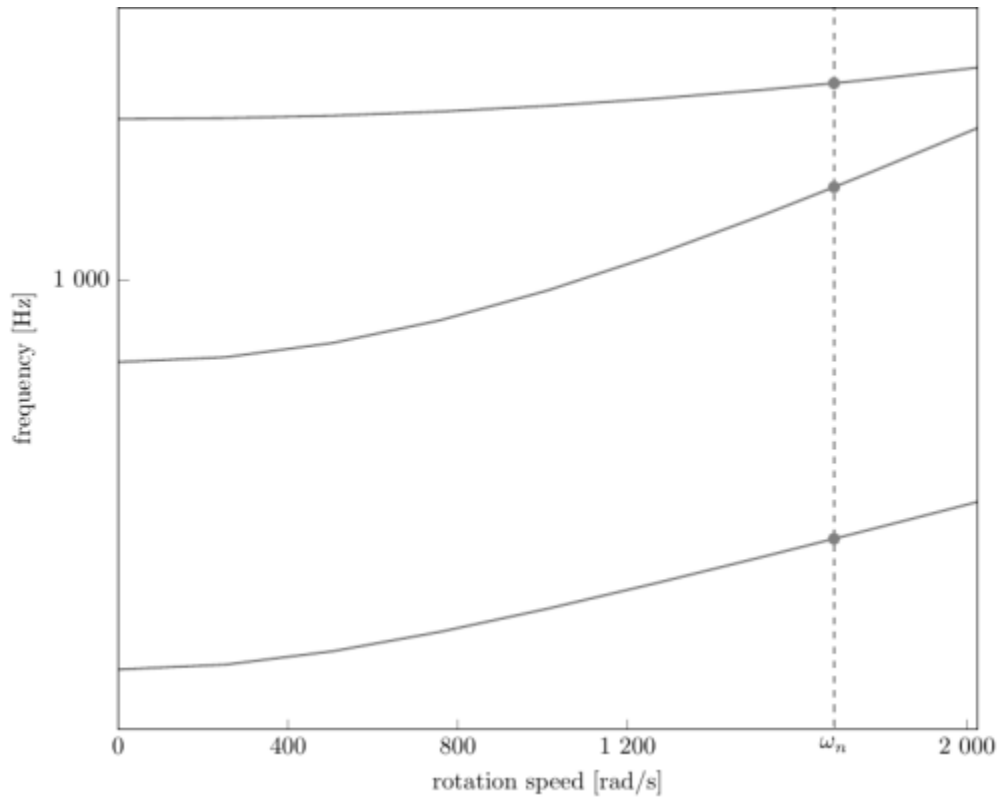
## Natural frequencies

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

Mode	Type	Natural angular frequency (rad/sec)	Natural frequency (Hz)
1	1B	1435.85	228.523
2	2B	5252.13	835.902
3	1T	8270.12	1316.23

## Campbell diagram

Evolution of the natural frequencies of the first 3 vibration modes, as a function of rotation speed, for the mesh computed with OpenMCAD<sup>[2]</sup>:



Campbell diagram computed with a linear centrifugal preload, with clamped root (nominal rotation speed  $\omega_n = 1\,686$  rad/s)

- graph (.pdf)
- Campbell data (.csv)

## Initial blade

The **initial blade** is defined with in-house LAVA parameters<sup>[4]</sup> 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	1436.14	228.568
2	2B	5253.42	836.108
3	1T	8274.96	1317

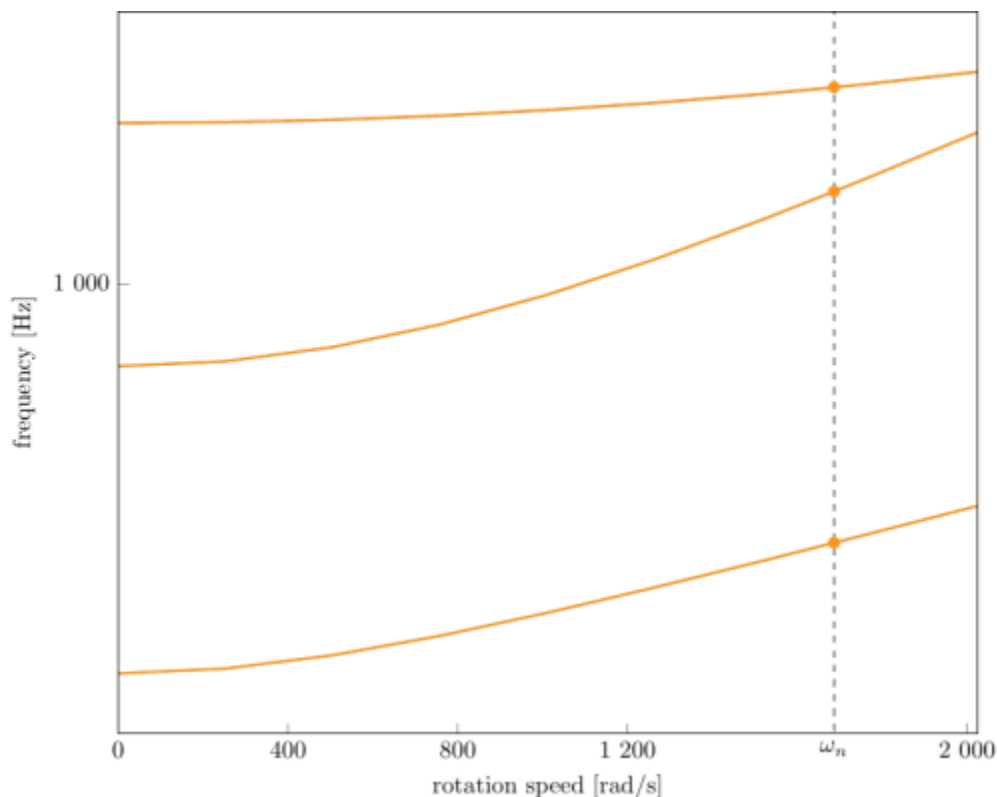
- from the reduced order model:

Mode	Type	Natural angular frequency (rad/sec)	Natural frequency (Hz)
1	1B	1436.16	228.572
2	2B	5255.37	836.418

Mode	Type	Natural angular frequency (rad/sec)	Natural frequency (Hz)
3	1T	8277.22	1317.36

## Campbell diagram

Comparison of the evolution of the natural frequencies of the first 3 vibration modes, as a function of rotation speed for the initial and the reference blade:



Campbell diagram computed with a linear centrifugal preload, with clamped root (nominal speed  $\omega_n = 1686$  rad/s),

initial blade (orange), reference blade (gray)

- graph (.pdf)
- Campbell data (.csv)

Fichiers téléchargeables

x

**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 <sup>[1]</sup>:

```
@TechReport{kovich1973design,  
  author      = {Kovich, George. and Moore, R. D. and Urasek, Donald  
C.},  
  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 198 kilograms per sercond per square meter (40.6  
(lb/sec)/ft2)},  
  number      = {NASA-TM X-2905},  
  url         = {https://ntrs.nasa.gov/citations/19740001915},  
}
```

- Photographie :

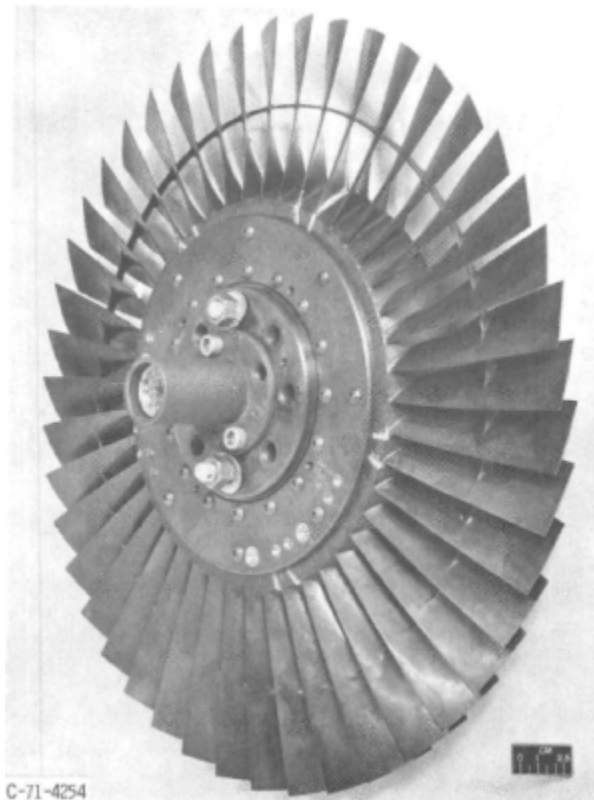


Fig1. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740001915> p.62

## 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<sup>[2]</sup> pour générer l'aube de référence

## Aube de référence

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

## Géométrie

La géométrie du rotor 11 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 11

RP	PERCENT		RADII		BLADE ANGLES			DELTA	CONE
	SPAN	RI	RO	KIC	KTC	KOC	INC	ANGLE	
TIP	0.	25.197	24.816	64.37	62.97	57.71	2.53	-10.431	
1	5.	24.628	24.280	63.11	61.83	57.26	2.78	-9.182	
2	10.	24.060	23.744	61.90	60.58	56.65	3.04	-8.035	
3	30.	21.741	21.600	57.36	54.88	53.15	4.13	-3.095	
4	45.	19.960	19.992	54.13	50.29	48.79	4.95	0.651	
5	48.	19.658	19.724	53.59	49.49	47.87	5.09	1.291	
6	50.	19.356	19.456	53.05	48.68	46.91	5.22	1.935	
7	53.	19.052	19.188	52.51	47.86	45.89	5.36	2.581	
8	55.	18.747	18.920	51.97	47.02	44.82	5.49	3.232	
9	70.	16.871	17.313	48.65	42.07	36.74	6.30	7.403	
10	90.	14.202	15.169	44.05	34.00	20.19	7.28	13.919	
11	95.	13.492	14.633	42.82	31.93	14.48	7.49	15.774	
HUB	100.	12.700	14.097	41.44	29.85	8.02	7.69	18.485	

RP	BLADE THICKNESSES			AXIAL DIMENSIONS			
	TI	TM	TO	ZIC	ZMC	ZTC	ZOC
TIP	0.051	0.152	0.051	1.046	2.039	2.444	3.116
1	0.051	0.162	0.051	1.002	2.040	2.415	3.156
2	0.051	0.172	0.051	0.955	2.040	2.381	3.198
3	0.051	0.215	0.051	0.761	2.027	2.191	3.363
4	0.051	0.248	0.051	0.621	2.021	2.003	3.502
5	0.051	0.254	0.051	0.598	2.019	1.967	3.527
6	0.051	0.260	0.051	0.574	2.018	1.930	3.553
7	0.051	0.265	0.051	0.550	2.017	1.892	3.579
8	0.051	0.271	0.051	0.526	2.016	1.852	3.606
9	0.051	0.306	0.051	0.377	2.003	1.588	3.774
10	0.051	0.356	0.051	0.147	1.989	1.143	4.050
11	0.051	0.370	0.051	0.079	1.983	1.013	4.116
HUB	0.051	0.385	0.051	0.000	1.972	0.861	4.179

## Caractéristiques aérodynamiques

	unités	valeurs
taux de compression	[-]	1,57
débit massique	[kg/s]	29,5
vitesse en tête	[m/s]	425
solidité en tête	[-]	1,3
allongement	[-]	2,5
nombre d'aubes	[-]	44
vitesse de rotation nominale $\omega_n$	[rad/s]	1686

## Propriétés matériau

Le matériau original du rotor 11 n'est pas défini dans le rapport de la NASA. Un alliage de titane Ti-6Al-4v est considéré:

	unité	valeurs
alliage	[-]	Ti-6Al-4v
module d'Young	[GPa]	108
masse volumique	[kg/m <sup>3</sup> ]	4400
coefficient de Poisson	[-]	0,34
limite élastique	[GPa]	0,824

## Modèle CAO

Le modèle CAO est obtenu avec OpenMCAD<sup>[2]</sup>.



intrados



extrados

## Fréquences propres

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

Mode	Type	Pulsation propre (rad/sec)	Fréquence propre (Hz)
1	1F	1435,85	228,523
2	2F	5252,13	835,902
3	1T	8270,12	1316,23

## Diagramme de Campbell

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

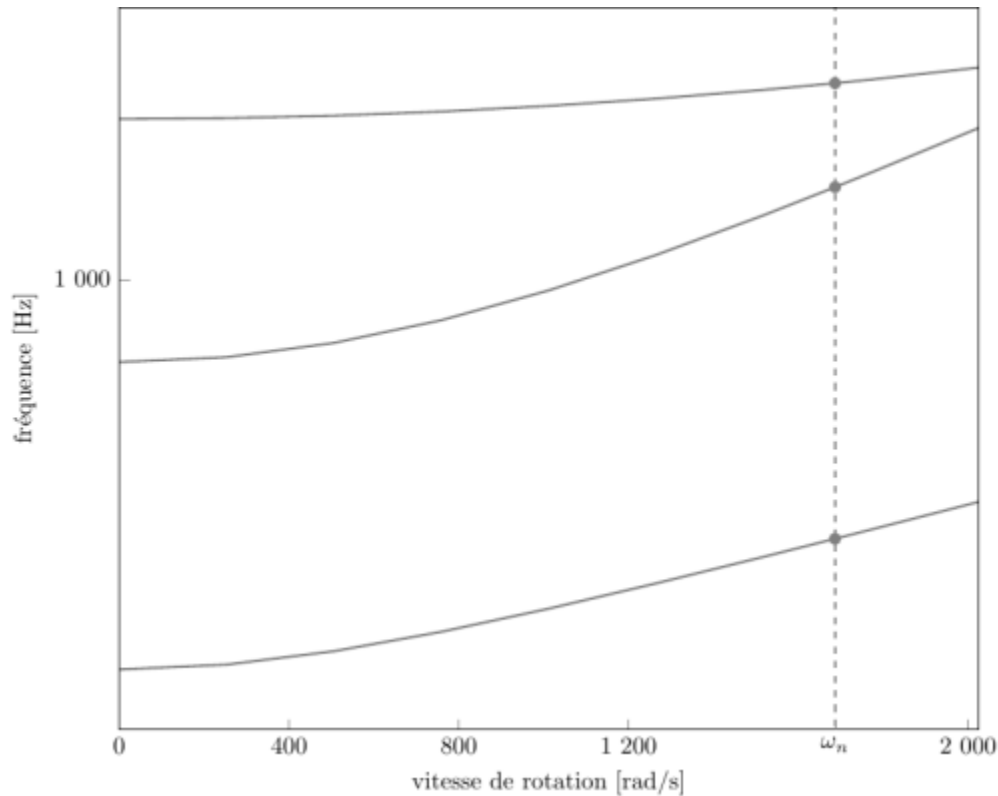


diagramme de Campbell calculé avec une précharge centrifuge linéaire, noeuds du pied d'aube encastrés (vitesse nominale  $\omega_n = 1\,686$  rad/s)

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

## Aube initiale

L'**aube initiale** est définie par des paramètres spécifiques au LAVA<sup>[4]</sup> 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	1436,14	228,568
2	2F	5253,42	836,108
3	1T	8274,96	1317

- pour le modèle réduit :

Mode	Type	Pulsation propre (rad/sec)	Fréquence propre (Hz)
1	1F	1436,16	228,572
2	2F	5255,37	836,418

Mode	Type	Pulsation propre (rad/sec)	Fréquence propre (Hz)
3	1T	8277,22	1317,36

## Diagramme de Campbell

Comparaison de l'évolution des fréquences propres des 3 premiers modes, en fonction de la vitesse de rotation, pour l'aube initiale et de référence:

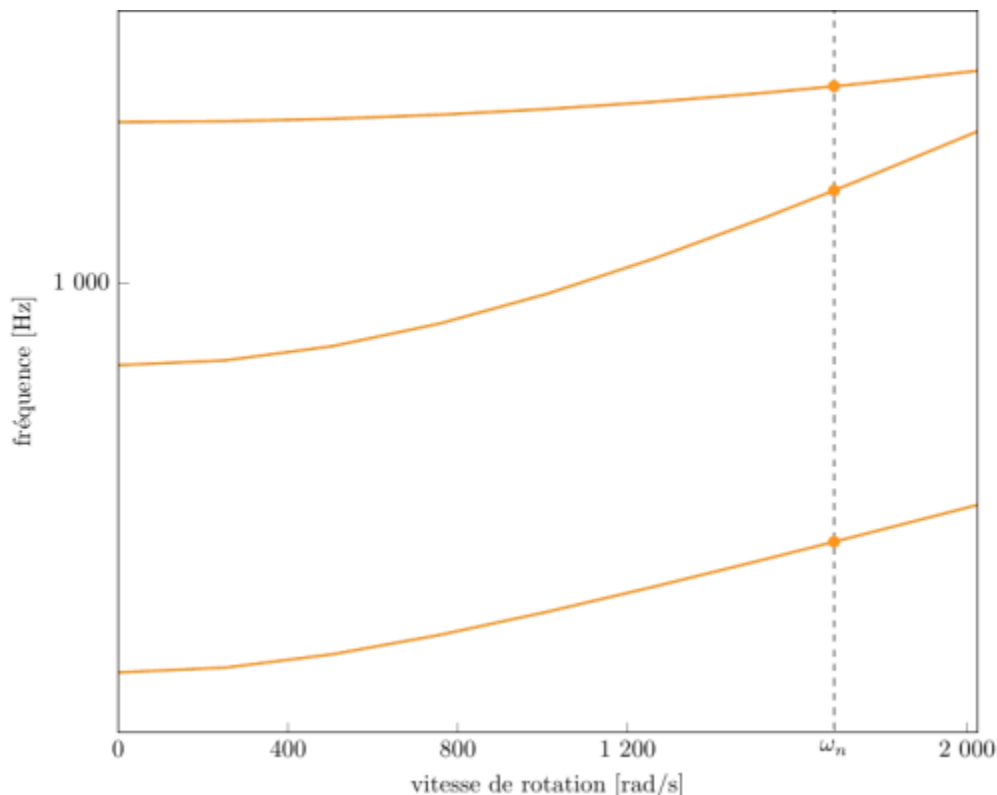


diagramme de Campbell calculé avec une précharge centrifuge linéaire, noeuds du pied d'aube encastrés (vitesse nominale  $\omega_n = 1\,686$  rad/s),

aube initiale (orange), aube de référence (grise)

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

1. [a, b, c, d](#) Kovich *et al.* «Performance of transonic fan stage with weight flow per unit annulus area of 198 kilograms per second per square meter (40.6 (lb/sec)/ft<sup>2</sup>) » 1973. [pdf](#)
2. [a, b, c, d, e, f, g, h, i, j](#) 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](#)

Document issu de la page wiki:

[https://wiki.lava.polymtl.ca/public/modeles/rotor\\_11/accueil?rev=1721925972](https://wiki.lava.polymtl.ca/public/modeles/rotor_11/accueil?rev=1721925972)

Dernière mise à jour: **2024/07/25 12:46**