



HAL
open science

Les grandes vitesses angulaires obtenues par les rotors sans axe solide

E. Henriot, E. Huguenard

► **To cite this version:**

E. Henriot, E. Huguenard. Les grandes vitesses angulaires obtenues par les rotors sans axe solide. Journal de Physique et le Radium, 1927, 8 (11), pp.433-443. 10.1051/jphysrad:01927008011043300 . jpa-00205311

HAL Id: jpa-00205311

<https://hal.science/jpa-00205311>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LE JOURNAL DE PHYSIQUE

ET

LE RADIUM

LES GRANDES VITESSES ANGULAIRES OBTENUES PAR LES ROTORS
SANS AXE SOLIDE

par MM. E. HENRIOT,

Professeur à l'Université libre de Bruxelles,

et E. HUGUENARD,

Directeur-adjoint du Laboratoire d'aviation de l'École des Hautes-Études.

Sommaire. — Un rotor tournant à très grande vitesse doit résister à la force centrifuge, qui détermine des efforts aisément calculables, et aux chocs dus aux paliers, qui produisent des forces inconnues annonçant généralement les ruptures.

L'arbre flexible de Laval et les paliers élastiques de Maurice Leblanc remédient partiellement à l'influence des chocs.

Nous avons utilisé la suspension totale du rotor sur une nappe uniquement gazeuse, ce qui permet de n'avoir plus à envisager comme limite à la vitesse angulaire que la résistance des matériaux de ce rotor à la seule force centrifuge.

Principe de la suspension sur une nappe gazeuse. — Le théorème de Bernoulli permet d'expliquer une expérience de Clément et Desormes dans laquelle une attraction entre deux plateaux parallèles est produite par un jet de gaz comprimé débouchant au centre de l'un d'eux.

Nos appareils utilisent un phénomène analogue, renforcé par un écoulement du gaz qui est à la fois divergent et tourbillonnaire.

Rotors. — De petits rotors, semblables à de petites toupies de forme aplatie, atteignent facilement sur le tourbillon produit par le stator, des vitesses périphériques de 200 à 400 m : s, correspondant à des vitesses angulaires qui dépassent 11 000 t : s. Ces petits rotors entraînent un miroir de 5 mm de côté à la vitesse angulaire de 5 000 à 6 000 t : s et nous permettent d'apprécier la vitesse de la lumière sur un parcours inférieur à un mètre.

Nous avons réalisé des rotors pesant 600 et 2 500 grammes, qui tournent respectivement à 1700 et 1400 t : s.

Montage élastique du stator. — Il y a intérêt à monter élastiquement le stator sur le support qui le lie au sol.

Mesure des vitesses angulaires. — Se fait par stroboscopie optique ou acoustique, par franges sonores ou par un manège balistique.

Nature de la stabilité du mouvement. — Le phénomène de succion statique indiqué ne justifie pas la stabilité du mouvement. Une sorte de rigidité du gaz, due à un état hyper-tourbillonnaire qu'il posséderait dans l'espace compris entre le rotor et le stator, permet de l'expliquer.

Autres possibilités. — On peut envisager de nombreuses applications scientifiques ou industrielles des très grandes vitesses de rotation, soit par l'utilisation des miroirs tournant très vite, soit par l'emploi de champs centrifuges très considérables et présentant de grandes variations en des points voisins.

Dans une des centrifugeuses construites, le plomb coule à froid vers la périphérie sous l'action du champ centrifuge seul.

1. Introduction. — La technique de laboratoire et la technique industrielle sont toutes deux intéressées à la réalisation de grandes vitesses angulaires. Nous avons obtenu dans ce sens, en utilisant des rotors qui n'ont avec le stator aucun contact solide ou liquide, des vitesses dépassant d'assez loin celles qui furent obtenues jusqu'ici avec des appareils beaucoup plus difficiles à réaliser que les nôtres.

Les appareils conçus avant nos recherches se classaient en deux catégories : rotors à

arbre rigide, rotors à axe flexible ou à paliers élastiques, suivant que la vitesse angulaire de régime Ω est inférieure ou supérieure à la pulsation propre de résonance de l'arbre chargé de son rotor (vitesse critique). L'arbre flexible a l'avantage de neutraliser l'influence d'un balourd accidentel provenant d'un défaut de centrage en ce sens que, dès que la vitesse critique est dépassée, il y a centrage automatique, l'arbre fléchissant de lui-même pour amener le centre de gravité du rotor sur l'axe de rotation. La méthode de l'arbre flexible (Laval) semble donc être, avec celle des paliers élastiques (Maurice Leblanc)⁽¹⁾ qui lui est équivalente, la seule qui permette de réaliser de très grandes vitesses, l'influence d'un défaut de centrage croissant comme ω^2 . Malgré cela, pour les très grandes vitesses de rotation (miroirs tournants genre Foucault, par exemple) c'est la solution de l'arbre rigide qui a été communément adoptée, tout l'effort du constructeur portant sur une grande perfection du centrage, d'où il résulte une grande difficulté de construction, un prix de revient élevé et malgré tout un fonctionnement précaire.

Nous avons réalisé des rotors suspendus uniquement sur une nappe gazeuse, pour essayer d'éliminer toutes les difficultés provenant de l'axe et de pousser les vitesses angulaires jusqu'aux limites imposées seulement par la résistance des matériaux.

Nos premières recherches ont porté sur de petits rotors dont la dimension est seule compatible avec les vitesses que nous leur avons données et dont l'application semble surtout d'ordre scientifique. Nos recherches ultérieures nous ont montré que des rotors plus importants pesant plusieurs kilogrammes et dont le maintien en rotation exige une puissance de plusieurs kilowatts pour vaincre la seule résistance de l'air peuvent être lancés avec encore plus de facilité et de sécurité que les petits rotors à des vitesses compatibles avec leur résistance, sans aucune usure et naturellement sans aucun graissage. Il ne nous semble pas que nous ayons épuisé dans ces domaines toutes les possibilités et nous sommes convaincus que des rotors encore plus importants peuvent être économiquement construits et utilisés avec une stabilité et une sécurité parfaite résultant de l'absence totale de chocs pendant leur mouvement.

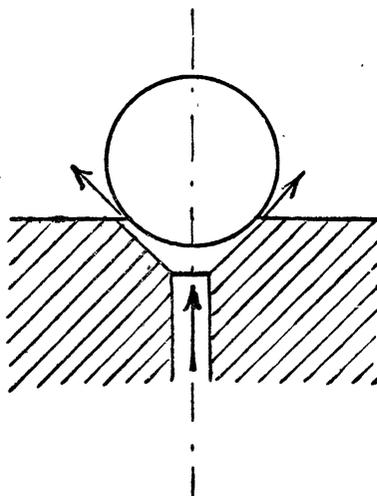


Fig. 1.

2. Principe de la suspension d'un corps sur une couche gazeuse. — Une expérience classique consiste à soutenir une sphère sur un jet gazeux à la manière d'un œuf sur un jet d'eau dans un tir de foire. Dans la fig. 1, un jet s'échappant d'un ajutage conique peut ainsi soutenir une bille d'acier à plusieurs centimètres du stator. Mais, en dehors de cette première position d'équilibre, présentant une très médiocre stabilité, nous avons

⁽¹⁾ *Journal de physique*, (1914).

trouvé qu'il en existe une seconde très stable. La bille placée à quelques millimètres du cône est violemment *aspirée* au voisinage immédiat du cône, même si le gaz est débité à des pressions considérables, d'une centaine d'atmosphères par exemple. La bille ne vient pas au contact, mais se place à une petite distance du cône, l'intervalle cône-sphère étant d'une fraction de millimètre et servant à l'écoulement du gaz (fig. 2). Elle peut être ainsi, en vertu de l'aspiration, soutenue au-dessous du cône (fig. 3).

Cette aspiration semble s'expliquer, en grande partie du moins, par le vide partiel qu'on produit dans un écoulement rayonnant et qui a fait l'objet de recherches anciennes de Clément et Desormes sur les liquides et les gaz. Supposons qu'entre deux plateaux

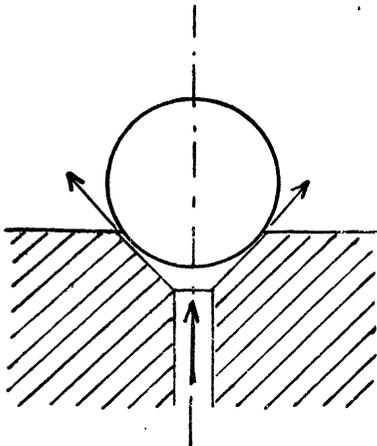


Fig. 2.

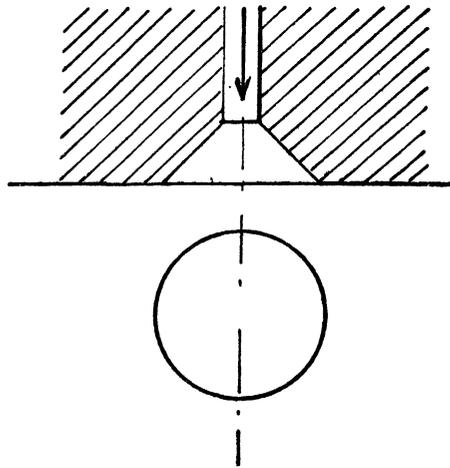


Fig. 3.

parallèles, on provoque un écoulement radial en amenant un fluide par un ajutage débouchant au centre d'un des deux plateaux : les plateaux, sont attirés l'un vers l'autre. L'explication est particulièrement simple s'il s'agit d'un fluide incompressible. La vitesse v du fluide à une distance r du centre est telle que $vr = \text{Cte}$, elle diminue donc en s'approchant du bord. Il doit en résulter un accroissement de la pression puisqu'en vertu de l'équation de Bernoulli, (admissible ici ?)

$$\frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} = \text{Cte.}$$

Pour que le fluide puisse sortir à la pression atmosphérique, il faut qu'il soit à une pression plus basse dans l'intervalle des deux plateaux, d'où vide partiel.

L'explication pour un fluide gazeux est la même : les calculs sont aussi faciles, mais plus longs. Il est très probable, en outre, que l'état tourbillonnaire du courant gazeux augmente encore l'effet de succion produit.

C'est cette deuxième position d'équilibre que nous avons utilisée. Dans nos premiers appareils, qui sont les seuls que nous décrirons, le jet gazeux sert aussi de moteur. Dans d'autres expériences, que nous décrirons dans une autre publication, nous avons réalisé des appareils où le couple moteur et la sustentation sont obtenus par des procédés distincts et qui se prêtent mieux à l'obtention de rendements économiques élevés.

Le stator de nos appareils est un cône creux où viennent déboucher des tuyères alimentées par un gaz, par exemple de l'air ou de l'acide carbonique, débité à une pression maintenant 4 à 6 kg : cm² en amont des tuyères. On obtient de bons résultats au moyen d'un cône de 90° d'angle au sommet, les tuyères étant normales aux génératrices et inclinées d'environ 45° sur le plan tangent au cône. Ces tuyères sont donc (au nombre de 4, 6, 8...)

disposées comme les génératrices rectilignes d'un hyperboloïde à une nappe. Le rotor porte un cône en relief dont l'angle au sommet est un peu plus ouvert (100 à 120°), muni de rainures radiales ou hélicoïdales destinées à jouer le rôle d'aubages. Ce cône est légèrement arrondi sur les bords et la pratique

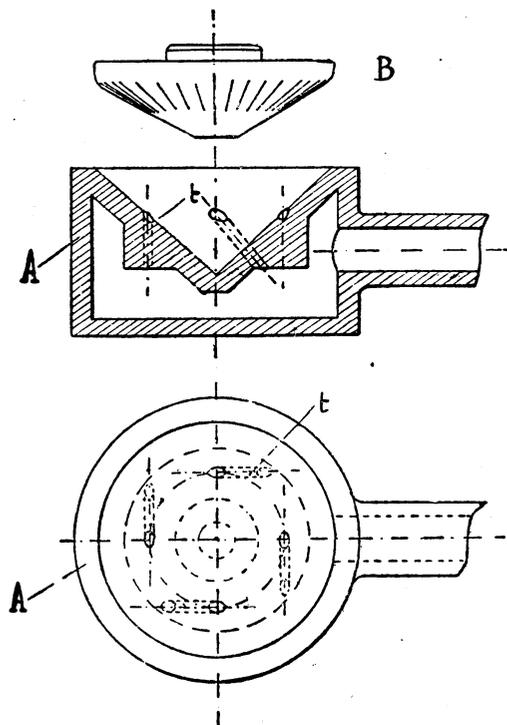


Fig. 4.

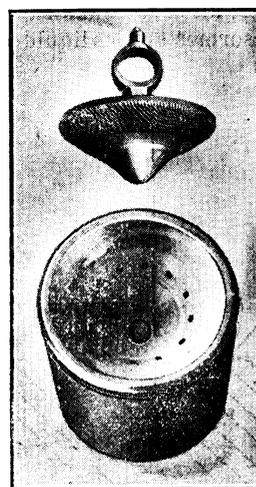


Fig. 5.

permet de fixer très vite son profil optimum (fig 4 et 5).

3. **Rotors.** — Nos premiers essais avaient surtout pour but d'obtenir les plus grandes vitesses possibles : c'est pourquoi leur forme a été réalisée de manière à se rapprocher de celle d'un solide d'égale résistance (fig. 5 en haut). Voici des résultats relatifs à deux petits rotors.

ω tours par seconde	v périphérique m : s	Diamètre mm	Pression d'alimentation kg : cm ²
1 300	185	48	3
11 000	404	11,7	—

La grandeur des vitesses réalisées avec le rotor de 11,7 mm nous a engagés à l'utiliser

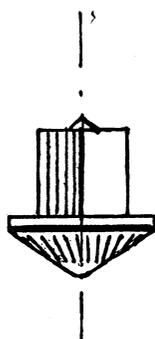


Fig. 6.

pour entraîner des miroirs tournants en acier. La figure 6 représente le premier appareil stable que nous ayons réalisé ; le cône portait un cube en acier poli de 8 mm de côté mais les essais nous ont montré que le miroir n'étant pas une figure de révolution, centrifuge beaucoup d'air et prend, en fonctionnant comme un ventilateur, une puissance telle que nous n'avons pu dépasser 2 000 tours par seconde. Nous avons dû restreindre les dimensions du miroir et nous contenter de miroirs de 4 à 5 mm de côté. Même dans ces conditions, nous n'arrivons qu'à des vitesses de 5 000 à 6 000 tours par seconde. Ces miroirs sont vissés (fig. 7) sur un corps cylindro-conique. Nous avons dû les tremper pour le polissage et nous avons eu un grand nombre de cas de rupture de la vis de 4 mm de diamètre qui sert à leur fixation sur le rotor.

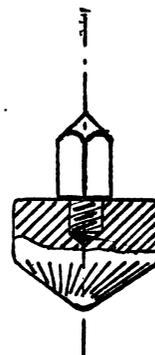


Fig. 7.

Actuellement, cette difficulté est surmontée et nous poursuivons avec M^{lle} Laurent des

mesures sur la vitesse de la lumière qui nous ont déjà donné des résultats intéressants et ont été effectuées sur une distance réductible à moins d'un mètre.

Rotors plus importants. — L'expérience nous ayant montré que l'on augmente la stabi-

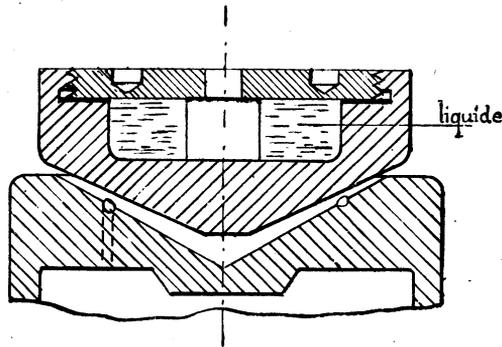


Fig. 8.

lité et la sécurité du fonctionnement en faisant tourner de plus grosses masses, nous avons réalisé des rotors plus importants. Nous avons cherché en même temps à les adapter au rôle de centrifugeuses (1). Nous avons réalisé certains types où le cylindre où s'effectue la

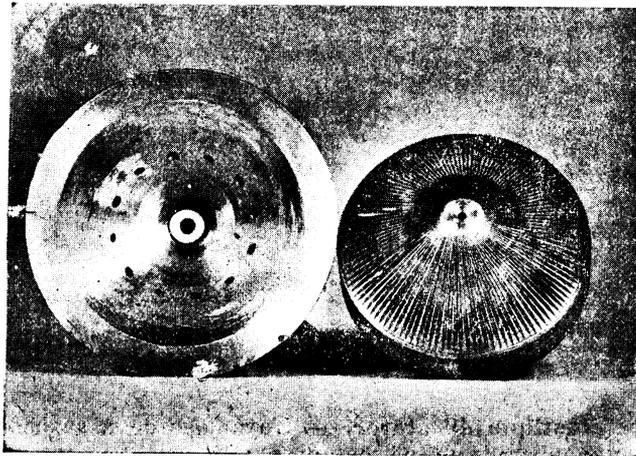


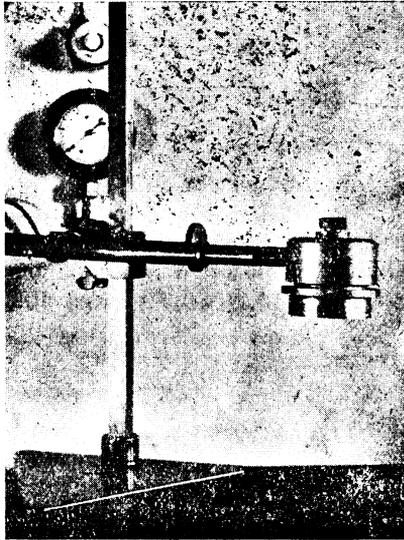
Fig. 9.

centrifugation est placé au-dessus du stator (fig. 8 et 9), d'autres où il est soutenu par aspiration au-dessous (fig. 10 et 11). Voici, à titre d'indication, quelques caractéristiques d'appareils réalisés.

DIAMÈTRE DU CÔNE	POIDS DU ROTOR grammes.	VITESSES DE ROTATION tours par minute.	ACCÉLÉRATION à la périphérie de la cavité.
1. Centrifugeuse 72 mm.....	600 — 800	75 — 100 000	150-250 000
2. Appareil Sharples modifié....	2 500	55 — 65 000	75-100 000

(1) Nous sommes heureux de remercier ici M. Berline, directeur de la Société française des Appareils centrifuges, qui a bien voulu encourager nos recherches et nous apporter une aide efficace en mettant à notre disposition divers appareils industriels à grande vitesse.

Il faut remarquer que, dans la construction des centrifugeuses, les vitesses périphériques ne sont jamais ce qu'on pourrait obtenir avec un disque tournant parce que la résistance d'un tambour tournant est inférieure à celle d'un disque et, d'autre part, le liquide centrifugé exerce une pression à l'intérieur du tam-



Fi . 10.

bour (2 000 kg : cm² pour la centrifugeuse de 72 mm remplie de mercure).

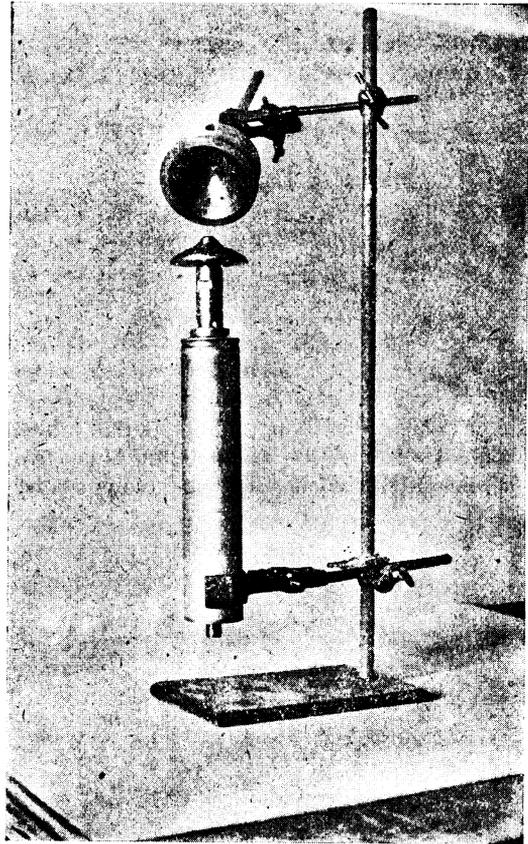


Fig. 11.

4. Montage élastique du stator. — L'avantage de la suspension gazeuse est que l'on peut utiliser des appareils qui ne sont que grossièrement centrés. On peut même, sur la toupie de la figure 8, placer, par exemple, un balourd de 100 g à 2 cm du centre et la faire tourner à 60 000 tours : minute. Comme, d'autre part, l'intervalle entre les parties les plus rapprochées du stator et du rotor n'excède pas une fraction de millimètre, lorsque le rotor décentré ne tourne pas autour de son axe de figure et lorsque le stator est fixé rigidement, le rotor doit forcément venir toucher le stator. Effectivement, la pratique nous a montré la nécessité de ne pas fixer rigidement le stator de manière à lui permettre de suivre le rotor sans le toucher. Il sera, par exemple (fig. 12), supporté par une tige maintenue au moyen du serrage de deux rondelles de caoutchouc ou de cuir *R,R*.

En réalité, comme nous le verrons, la liaison stator-rotor doit être considérée comme relativement rigide dans un sens et l'élasticité doit être reportée sur le montage du stator. L'absence, dans ces conditions, de tout contact entre le rotor et le stator, malgré la petite distance qui les sépare, et malgré les efforts considérables que le rotor doit exercer sur le stator, est un phénomène extrêmement remarquable sur lequel nous reviendrons à la fin de cet article.

5. **Mesure des vitesses angulaires.** — Nous allons énumérer les méthodes utilisées, donnant des résultats concordants.

1° *Méthode stroboscopique* habituelle, avec lampe au néon donnant de 1 000 à 1 800 éclairs à la seconde.

2° *Méthodes acoustiques.* — Lorsqu'une de nos toupies tourne, elle rend un son. On pouvait hésiter sur le fait de savoir si ce son est le son d'axe ou un son de nutation forcée. Nous avons tranché définitivement la question en aimantant le rotor et en le faisant tourner au voisinage d'une bobine reliée à un téléphone.

La hauteur du son rendu par le téléphone est égale, bien évidemment, au nombre de

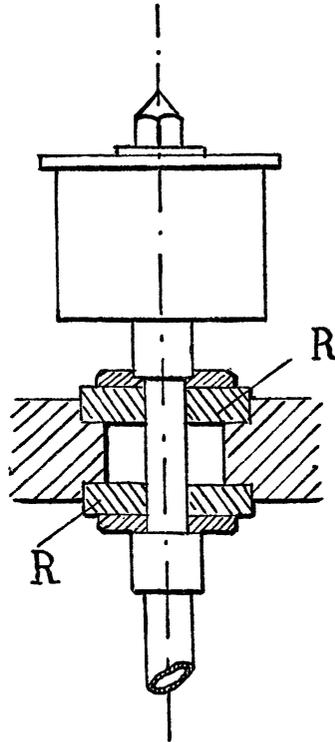


Fig. 12.

tours. Comme elle est à l'unisson exact du son rendu par le rotor dans l'air, la hauteur du son rendu par le rotor dans l'air (son d'axe) est bien égale au nombre de tours qu'effectue ce rotor en une seconde. On peut mesurer la vitesse de rotation en utilisant cette propriété, à l'aide d'un sifflet de Galton étalonné. On amène le son du sifflet à l'unisson du son d'axe en utilisant les phénomènes de battements précédés du son résultant et on lit sur la table d'étalonnage la hauteur du son rendu. On peut également, comme nous l'avons montré à la Société de Physique, utiliser les sons résultants successifs obtenus avec des diapasons de fréquence croissante.

Une méthode acoustique simple, mais qui n'est pas très précise et n'est utilisable qu'avec de petits rotors, consiste à étudier les franges sonores qui se produisent lorsqu'on place l'appareil devant un mur et qui sont analogues aux franges lumineuses produites par une source ponctuelle avec un seul miroir. Cette méthode très simple donne une indication rapide par la mesure de quelques interfranges (qui ont une longueur de quelques centimètres).

3° *Mécaniquement.* — Lorsque le rotor est en dessous du stator, on peut le faire tomber

dans un appareil balistique disposé pour la mesure des moments de quantité de mouvement et déduire la vitesse de rotation de la connaissance du moment mesuré et du moment d'inertie du rotor.

6. Nature de la stabilité du mouvement. — Le phénomène de Clément-Desormes explique bien la stabilité du rotor arrêté, mais que cette stabilité subsiste en mouvement demande une explication.

Les cônes du stator et du rotor ne peuvent être égaux : en effet, l'inégalité forcée du débit des tuyères et l'action de la pesanteur produisent un mouvement de précession ; l'axe de rotation décrivant un cône très effilé dans des temps qui sont de l'ordre d'une heure. On est averti immédiatement si une tuyère se bouche partiellement par l'exagération de la rapidité de la précession et de son amplitude.

Cette précession, limitée à de petits angles, n'est pas gênante dans la pratique, notamment pour les miroirs tournants. Du reste, elle se produit aussi dans les appareils à axe flexible.

Indépendamment de cette précession, l'axe peut avoir un mouvement de nutation beaucoup plus rapide mais de très petite amplitude. Si le rotor était tout à fait libre, la période ω de cette nutation serait donnée par

$$\omega = \frac{I\Omega}{J}$$

I et J étant les moments d'inertie longitudinal et transversal ; Ω , la vitesse angulaire de rotation.

Ici la nutation n'est pas celle d'un corps libre, elle est due à des efforts locaux (chocs de saillies par le vent d'une tuyère, etc.). Elle est généralement peu sensible. Sa période est du même ordre de grandeur que la période Ω , elle n'est pas donnée par la formule ci-dessus. N'ayant aucun rapport commensurable avec Ω lorsqu'elle se produit, elle fait entendre un son dissonnant avec le son d'axe, qui semble alors devenir criard. En même temps, l'aspect du rotor, qui était lisse, devient trouble. Lorsque cette nutation exagérée se produit, c'est en général que l'on approche d'une certaine vitesse limite de stabilité qui précède le moment où le rotor saute du stator, la vitesse devenant trop grande. Quoi qu'il en soit, dès que le diamètre du rotor dépasse 40 mm, il démarre tout seul par simple ouverture du robinet d'alimentation. Il est stable à des vitesses d'un tour par seconde et jusqu'à une certaine vitesse limite que l'on n'atteint pas toujours avec les pressions de quelques kilogrammes. La vitesse de régime semble, dans certains cas, d'une extrême régularité et indépendante de la pression d'alimentation. Ceci pouvant être prévu, la vitesse d'un jet gazeux devenant indépendante de la pression d'alimentation dès que le rapport de détente est supérieur à un nombre voisin de 2. Pour les très petits rotors de 12 mm, il est quelquefois utile de les guider au départ avec le doigt appuyé sur une petite pointe disposée à cet effet.

Quoi qu'il en soit, si l'on excepte le cas de la nutation exagérée que l'on peut éviter, le rotor tourne très près du stator (un ou deux dixièmes de millimètre) sans jamais le toucher, même avec un balourd important, c'est-à-dire dans des conditions où il exerce sur le stator des efforts considérables.

Il est extrêmement intéressant que la couche d'air interposée puisse transmettre de tels efforts en interdisant le contact, et c'est ce très remarquable phénomène que nous devons regarder de plus près.

Etant donné les grandes vitesses relatives périphériques entre deux surfaces distantes d'une petite fraction de millimètre, l'air interposé doit être dans un état qu'on peut appeler *hypertourbillonnaire*, les filets de tourbillon qui ne peuvent manquer de s'y former devant tourner à des vitesses angulaires dépassant 10 millions de tours par seconde.

Nous pensons qu'on peut expliquer également par un tel effet hypertourbillonnaire, empêchant le contact, le fait que l'on peut scier *sans contact* un métal au moyen d'un disque de tôle animé d'une vitesse périphérique suffisante ; on peut également rapprocher de ce fait l'absence de tout contact solide qui existe lorsqu'un projectile, animé d'une vitesse suffisante, traverse, dans certaines conditions une plaque de métal.

nutations, angle de l'axe de la rotation avec la verticale, nutation précession ; oscillation d'axe de rotation autour de la verticale

Le calcul suivant, où nous n'avons pas la prétention d'expliquer complètement un phénomène aussi complexe, va nous montrer qu'un filet de tourbillon d'air, lorsqu'il est comprimé latéralement et adiabatiquement (au sens de la mécanique quantique), peut réagir avec une extrême énergie et, lorsqu'on essaie de réduire suffisamment son volume, devenir beaucoup moins compressible que de l'acier, quoique la pression moyenne de l'air qui le remplit soit suffisamment faible.

Pour fixer les idées, supposons une masse d'air tournant sans frottement dans un tube cylindrique déformable (fig. 13) sur lequel nous exercerons des pressions normales P ; supposons que la vitesse angulaire est celle qui peut se produire dans une masse d'air comprise entre deux surfaces distantes de 1/10 mm, ou moins, animées l'une par rapport à l'autre d'une vitesse relative de 400 mètres, c'est-à-dire que ω est de l'ordre de 500 000 à 1 million.

Il est facile de voir que, dans la plupart des cas, la presque totalité de l'air sera concentrée au voisinage de la périphérie du cylindre.

En effet, la répartition de la pression en fonction du rayon r est donnée par une relation de la forme

$$p = p_R \cdot e^{a\omega^2(r^2 - R^2)}$$

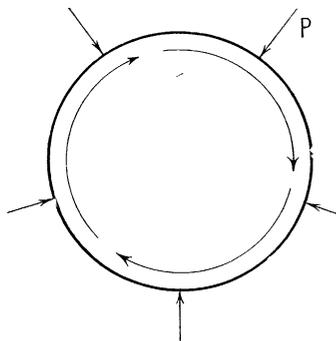


Fig. 13.

a étant une constante dépendant de la pression moyenne au repos.

Le calcul précis montre que toute la masse est appliquée à la périphérie. Ce résultat n'a d'autre intérêt que de simplifier le calcul suivant :

Augmentons adiabatiquement (au sens de la mécanique quantique) la pression de dP , cela veut dire que nous produisons cette augmentation de pression pendant un grand nombre de périodes, ce qui, vu la grandeur de la vitesse de rotation, peut se faire en un temps très court, et calculons le coefficient de compressibilité

$$K = - \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dP} = - \frac{2}{R} \cdot \frac{dR}{dP}$$

Les forces exercées étant centrales, le moment de la quantité de mouvement de rotation μ est constant et, si nous appelons M la masse gazeuse par unité de longueur,

$$\mu = M\omega R^2 = C^{te}, \quad \text{d'où : } \frac{d\omega}{\omega} = - \frac{2dR}{R}$$

L'énergie cinétique par unité de longueur $T = \frac{1}{2} M \omega^2 R^2$ croît.

En comparant ces deux égalités, il est facile de voir que

$$dT = T \frac{d\omega}{\omega} = - T \cdot \frac{2dR}{R}$$

Le travail nécessaire est donc

$$- P dV = - P \cdot 2\pi R dR = - T \cdot \frac{2dR}{R}$$

d'où

$$P = \frac{T}{\pi R^2} = \frac{M\omega^2}{2\pi}$$

d'où l'on déduit immédiatement

$$\frac{1}{K} = \frac{M\omega^2}{\pi} = \frac{\mu^2}{\pi MR^4}$$

Le coefficient de compressibilité dynamique diminue comme R^3 , alors que si l'on comprimait la même masse arrêtée, le coefficient de compressibilité diminuerait proportionnellement au volume, c'est-à-dire comme R^2 .

Supposons par exemple un gaz raréfié à 1/100 atmosphère, et réduisons le rayon (statiquement et isothermiquement) à 1/100 de la valeur, c'est-à-dire le volume à 1/10 000 de sa valeur initiale, la pression finale sera de 100 atmosphères, c'est-à-dire qu'on aura encore un gaz bien compressible.

Mais si nous faisons la même opération adiabatiquement sur le gaz qui tourbillonne, le résultat sera bien différent.

Prenons les données suivantes. Supposons un premier état où la vitesse relative est $v_0 = 500 \text{ m} : \text{s}$,

$$K_0 = \frac{\pi}{M\omega^2} = \frac{\pi}{\pi R_0^2 \rho_0 \omega_0^2} = \frac{1}{\rho_0 v_0^2}.$$

Supposons la densité initiale $\rho_0 = 1,3 \cdot 10^{-5}$ correspondant à 1/100 atmosphère.

En unités cgs :

$$K_0 = \frac{1}{0,3 \cdot 10^5}.$$

En kilogrammes par millimètre carré :

$$K_0 = 330.$$

Si l'on réduit R au 1/10 adiabatiquement, K_0 est divisé par 10^3 , et devient $3,3/100$; si on le réduit au 1/100, K_0 est divisé par 10^6 , et devient $3,3 \times 10^{-6}$. Le module de compressibilité sera $1/K = 300\ 000$ environ, alors que le module de compressibilité linéaire de l'acier est de l'ordre de 20 000 seulement.

Il doit donc réagir avec une extrême énergie contre toute force tendant à produire le contact.

Nous pensons qu'il y a lieu de rapprocher cette explication du fonctionnement des remarquables paliers Mitchell, où le graissage s'effectue sans pression extérieure malgré les efforts considérables appliqués aux surfaces frottantes.

7. Autres possibilités. — Il nous paraît possible d'utiliser le coussinet d'air pour soutenir des rotors :

1. En utilisant un couple moteur distinct de la sustentation, par exemple un couple électrique, ou le couple apporté par une courroie, ou créé par de la vapeur agissant sur des aubages de turbine à bon rendement ;

2. En n'envoyant pas d'air comprimé entre les deux cônes mais en utilisant seulement l'air qui est centrifugé dans leur intervalle au cours de la rotation produite par le couple moteur dont il est question ci-dessus.

La possibilité de le faire nous est indiquée par l'expérience suivante, qui est très frappante : Le rotor de la figure 8, monté comme l'indique la figure 10 et tournant en dessous du stator à la manière ordinaire, c'est-à-dire en étant alimenté par de l'air comprimé, on coupe l'arrivée d'air comprimé : en vertu de son inertie, le rotor continue à tourner et il reste suspendu tant que sa vitesse est suffisante, si l'on a soin de laisser entrer l'air atmosphérique en amont des tuyères par un ajutage spécial mis simplement en communication avec l'atmosphère. Avec la centrifugeuse de 75 mm (800 g) de la figure 10, le rotor lancé à 60 000 t : min reste suspendu ainsi pendant 45 secondes, sa vitesse au moment de sa chute n'étant plus que de 6 000 à 8 000 t : min. Si l'on applique un couple électrique suffisant, le rotor fonctionne avec coussinet d'air sans être alimenté par un réservoir d'air comprimé.

Ceci donne la possibilité d'utiliser le coussinet à air d'une manière indépendante. Par exemple, tant que le rotor aura une vitesse insuffisante (c'est-à-dire pendant le lancement) pour que l'air centrifugé entre les cônes puisse le soutenir, il reposera sur un collier ; lorsque la vitesse sera suffisante, il se libérera du collier par aspiration et tournera alors sans contact.

On peut également soutenir un rotor par deux cônes coaxiaux tournant dans deux cônes creux. Il faut alors, ainsi que nous l'avons réalisé dans nos premières machines, pour éviter des oscillations gênantes pour la stabilité, que les deux cônes du rotor puissent coulisser l'un par rapport à l'autre dans la direction de l'axe afin qu'ils puissent choisir leur position par rapport aux cônes fixes (fig. 14).

D'assez nombreuses expériences semblent susceptibles d'être tentées avec de petits rotors où le champ centrifuge $\omega^2 r = \frac{v^2}{r}$ peut être énorme, à cause notamment de la petitesse de r pour une vitesse périodique donnée. Prenons, par exemple, le cas où

$$\begin{aligned}\omega &= 2\pi \times 10\,000 & r &= 0,6 \text{ cm} \\ \omega^2 r &= 4\pi^2 \times 10^8 \times 0,6 = 2,37 \cdot 10^9 \\ &= 2,4 \cdot 10^6 g \text{ environ,}\end{aligned}$$

g étant le champ de pesanteur. Ce qui est remarquable dans ce champ, c'est non seulement sa grandeur périphérique, mais la valeur élevée de son gradient, puisqu'il passe, en 6 mm, de la valeur 0 à cette très grande valeur. La dérivée seconde du potentiel de gravitation équivalent, qui détermine la courbure du champ d'Einstein, est donc très grande et cela pourrait être utile pour certaines expériences relatives aux questions de gravitation.

D'autres possibilités se présentent encore qui feront l'objet d'une communication ultérieure.

Nous signalons seulement pour terminer que la centrifugeuse des figures 8, 9 et 10

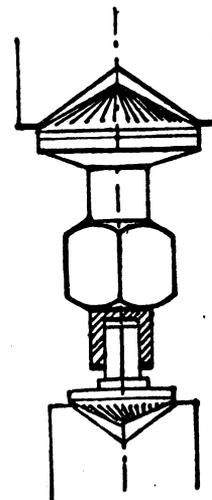


Fig. 14

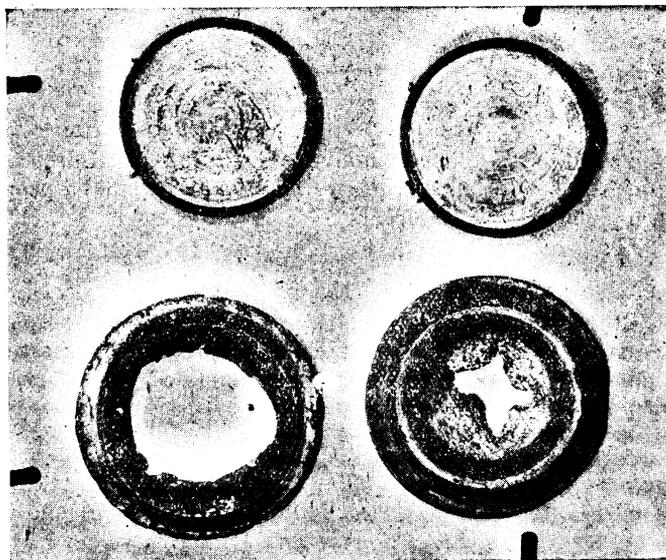


Fig. 15.

permet de réaliser couramment, à la périphérie de sa cavité, des champs de gravité de 150 000 g . Dans cette cavité, des disques de plomb (fig. 15 en haut) prennent à froid, en quelques minutes, l'aspect donné par la figure 15 en bas.