Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 84 (1958)
Heft: 23

Artikel: Turbo-machines pour l'énergie nucléaire
Autor: Strub, René A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-63511

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

84e année Lausanne, 8 novembre 1958 N° 23

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

ORGANE OFFICIEL
de la Société suisse des ingénieurs et des architectes
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.)
de la Section genevoise de la S.I.A.
de l'Association des anciens élèves de l'E.P.U.L. (Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne)
et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole polytechnique fédérale de Zurich)

COMITÉ DE PATRONAGE
Président: J. Calame, ing. à Genève
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne
Secrétaire : S. Rieben, ing. à Genève
Membres:
Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.
Genève: Cl. Grosgurin, arch.; E. Martin, arch.
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Guye, ing.
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.
Vaud: A. Chevalley, ing; A. Gardel, ing.
Ch. Thévenaz, arch.

CONSEIL D'ADMINISTRATION
de la Société anonyme du « Bulletin technique »
Président: A. Stucky, ing.
Membres: M. Bridel; R. Neeser, ing.; P. Waltenspuhl, arch.
Adresse: Ch. de Roseneck 6, Lausanne

RÉDACTION
D. Bonnard, ing.
Rédaction et Editions de la S. A. du « Bulletin technique »
Tirés à part, renseignements
Adresse: Case Chauderon 475, Lausanne

ABONNEMENTS
1 an . . . . . Suisse Fr. 26.— Etranger. . Fr. 30.—
Sociétaires . . . » » 22.— » . . » 27.—
Prix du numéro . . . » » 1.60
Chèques postaux : « Bulletin technique de la Suisse romande », N° II. 57 75, Lausanne.
Adresser toutes communications concernant abonnement, changements d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29 Lausanne

ANNONCES
Tarif des annonces:
1/1 page. . . . . Fr. 275.—
1/2 » . . . . . » 140.—
1/4 » . . . . . » 70.—
1/8 » . . . . . » 35.—
Adresse: Annonces Suisses S. A.
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. Lausanne et succursales

SOMMAIRE

Turbo-machines pour l'énergie nucléaire, par René A. Strub, ingénieur, Winterthour.
Quelques exemples de ponts autoroutes allemands et américains, par P. Preisig, ingénieur en chef A.C.M., Vevey.
Les congrès. — Divers. — Bibliographie. — Communiqués.
Service de placement. — Documentation générale. — Nouveautés, informations diverses.
Supplément : « Bulletin S.I.A. » N° 18.

TURBO-MACHINES POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

par RENÉ A. STRUB, ingénieur, Winterthour.

Les réacteurs atomiques peuvent être refroidis au moyen de différents réfrigérants : eau, eau lourde, gaz divers et même métaux liquides. Pour faire circuler ces réfrigérants dans des circuits fermés, on a besoin de machines qui doivent répondre à des conditions spéciales : protection de certains éléments de la machine contre la radio-activité induite dans le réfrigérant lors de son passage dans le réacteur, exigences spéciales quant à l'étanchéité, etc.

La maison Sulzer Frères S.A., qui s'occupe depuis quelques années de la construction de réacteurs nucléaires et qui a développé depuis plusieurs décennies des machines pour la circulation de liquides et de gaz, s'est penchée également sur le problème du refroidissement de réacteurs nucléaires et a déjà développé plusieurs constructions spéciales à cet effet. Le travail qui suit a pour but de donner un aperçu des problèmes spéciaux qui se posent dans le cas de turbo-machines pour des installations atomiques, problèmes dont la majorité nécessiterait une étude encore plus poussée.

Seuls les machines ou appareils soumis aux radiations ou parcourus par des fluides corrosifs, nocifs ou très chers circulant dans un réacteur ou intervenant dans un cycle physique ou chimique apparenté au domaine nucléaire retiendront notre attention. Les machines ou appareils normaux faisant partie du circuit secondaire d'un réacteur, tels qu'ils sont utilisés sur le cycle vapeur ne présentent que peu d'intérêt et ne seront pas discutés ici.

L'utilisation de l'énergie nucléaire pose au constructeur de turbo-machines de nouveaux problèmes et ceux qu'il connaissait déjà sont encore plus difficiles à résoudre. En effet, de nombreuses limitations interviennent dans la construction.

Les turbo-machines devront résister aux effets de la température, de la corrosion, des radiations et présenter toute sécurité quant à l'étanchéité. La pollution par des agents nuisibles tels que l'huile ou l'humidité pose les problèmes du frottement à sec d'organes mobiles, de l'étanchéité absolue et du traitement des surfaces et de leur dégazage. La machine doit en plus présenter un maximum de sécurité avec un minimum d'entretien, ce dernier devant pouvoir s'effectuer aussi facilement que possible.

Les conditions dans lesquelles travaille la machine étant souvent nouvelles, la maîtrise d'un tel domaine demande une somme considérable d'essais de laboratoire afin d'étudier l'effet séparé ou simultané des variables.

Consciente du rôle important des turbo-machines dans le domaine nucléaire, la maison Sulzer Frères

s'est intéressée au développement et à la fabrication d'un certain nombre de machines rotatives, dont il sera fait mention plus loin.

Limitation dans la construction

Les proportions d'une pompe ou d'un compresseur axial ou radial sont influencées par un certain nombre de facteurs.

Pour une pompe par exemple, la vitesse périphérique du joint à l'arbre ou des paliers fonctionnant dans le fluide à pomper, ainsi que la hauteur de mise en charge (cavitation) peuvent être des facteurs déterminants pour le choix du nombre de tours fixant par là-même le diamètre de la machine.

Pour un compresseur à gaz par contre, le nombre des facteurs limitant le libre choix de la grandeur de la machine est plus élevé.

Il y a intérêt à connaître ces limites afin de réduire le plus possible les dimensions des machines et par conséquent la surface et le volume interne par exemple là où un fluide coûteux est véhiculé ou si le dégazage des surfaces est d'importance.

Un coup d'œil sur la figure 1 montre que les gaz lourds tels que l'UF_6 (hexafluorure d'uranium) ou le $CF_2\,Cl_2$ (Fréon 12) ont une vitesse du son relativement basse. Il s'ensuit que la vitesse périphérique à l'entrée de la machine pourrait être dictée par le nombre de Mach si les rapports de pression à obtenir sont élevés. Par contre, pour les gaz légers tels que l'hydrogène (H_2) et l'hélium (He) par exemple, la limitation sera donnée par la résistance à la rupture du matériau employé dans la construction du rotor.

Considérons d'abord un compresseur radial à un étage ayant une roue ouverte d'un diamètre unitaire, destiné à la compression d'un gaz léger ou lourd. Admettons de ne pas dépasser une vitesse périphérique donnée compatible avec les tensions maxima permises dans le rotor ainsi qu'un nombre de Mach sur le diamètre d'entrée de la roue de 0,9. A partir de ces données, on pourra déterminer les autres caractéristiques de la machine, soit le débit ainsi que le rapport de pression. Toutes les valeurs se rapportant à l'azote seront considérées comme grandeurs de référence auxquelles seront comparées celles obtenues pour d'autres gaz. Dès qu'une grandeur atteindra la valeur limite fixée, elle sera marquée d'un astérisque. C'est elle qui limitera en quelque sorte la vitesse du rotor et déterminera par conséquent la grandeur de la machine.

Le tableau 1 montre que pour les gaz lourds en question, le nombre de Mach maximum imposé à l'entrée de la roue limite la vitesse de la machine. Pour l'hexafluorure d'uranium (UF_6) cependant, le faible rapport des chaleurs spécifiques, $\chi = 1{,}06$, joint à un rapport de pression élevé de 7,5, conduit à un volume du gaz à la sortie relativement petit. Le rapport de la largeur de la roue à la sortie au diamètre extérieur est de ce fait de 2,2 %, ce qui est considéré ici comme une limite inférieure.

Pour le CO_2, on atteint presque simultanément la limite de résistance du rotor ainsi que le nombre de Mach prescrit. Dans le cas du N_2 et des gaz légers, la résistance du rotor seule donne la limitation.

Il est clair que l'utilisation de matériaux ayant un rapport σ/ρ (tension admissible/masse spécifique) de plus en plus petit déplacera la limite basée sur la résistance du rotor vers les gaz de plus en plus lourds.

En choisissant un alliage de titane, il est possible d'élever la vitesse périphérique à près de 700 m/sec pour les gaz légers comme le montrent les deux dernières lignes du tableau 1.

Une comparaison semblable à celle décrite précédemment peut être faite avec des compresseurs axiaux. Le tableau 2 renseigne sur les résultats obtenus avec un compresseur à 10 étages ayant un rapport de rayon

TABLEAU 1

Influence de la nature du gaz sur un compresseur radial

Gza	Ma	σ/σ_0	U/U_0	p_2/p_1	Q/Q_0	
UF_6	0,90*	0,14	0,37	7,5	0,21	Rotor en acier
$CF_2\,Cl_2$, Fréon 12	0,90*	0,42	0,65	7,5	0,37	
CO_2	0,90*	1,0*	1,0	5,0	1,0	
N_2	0,70	1,0*	1,0	3,0	1,0	
H_e	0,28	1,0*	1,0	1,2	1,2	
H_2	0,21	1,0*	1,0	1,1	1,2	
H_e	0,42	1,35*	1,5	1,5	1,8	Rotor en alliage de titane
H_2	0,32	1,35*	1,5	1,25	1,8	

U_0 = 450 m/s
Température à l'entrée = 353 °K
Ma = nombre de Mach
σ/σ_0 = tension
p_2/p_1 = rapport de pression
Q/Q_0 = volume aspiré
U = vitesse périphérique
* = valeurs limites

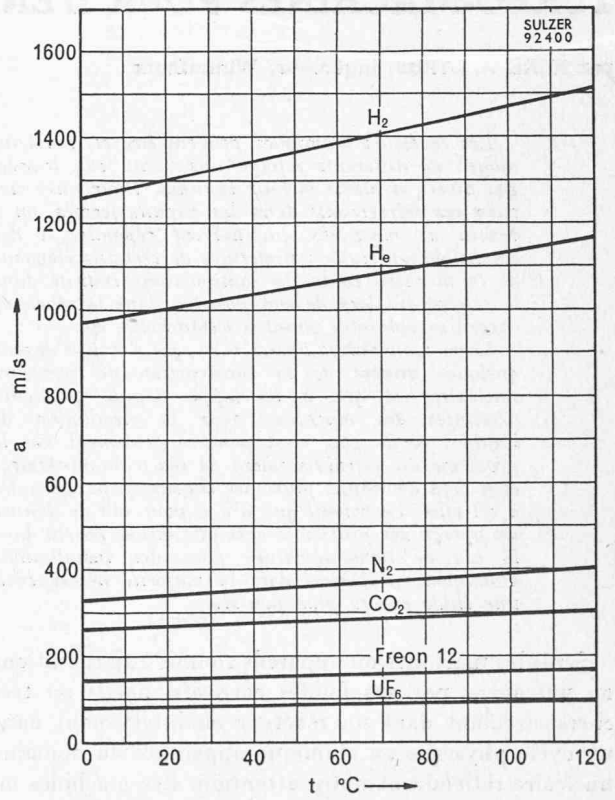


Fig. 1. — Vitesse du son a en fonction de la température t pour différents gaz.

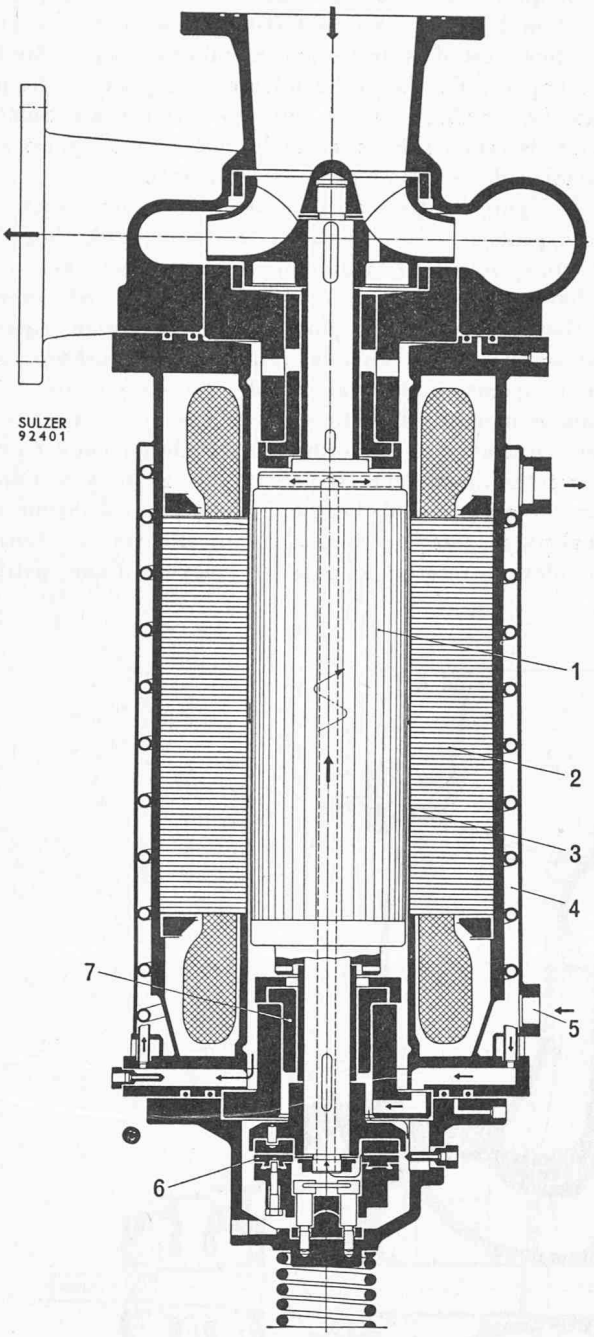


Fig. 2. — Pompe à eau lourde avec moteur en capsule de construction légère pour le centre atomique suisse de Würenlingen.

1 Rotor
2 Stator
3 Capsule
4 Echangeur de chaleur
5 Eau de refroidissement
6 Palier axial
7 Palier radial

à l'entrée de 1,5. Le nombre de Mach à l'entrée à la pointe des aubes a été limité à la valeur de 0,9.

Il est intéressant de voir que le nombre de Mach limite la vitesse périphérique du rotor pour les quatre premiers gaz et que, de même que pour les machines radiales, la résistance de la matière détermine la vitesse maximum de la machine pour les gaz légers. Ici encore, les matériaux ayant un rapport σ/ρ plus favorable peuvent être utilisés avec avantage afin d'augmenter le rapport de pression ou de diminuer le nombre d'étages.

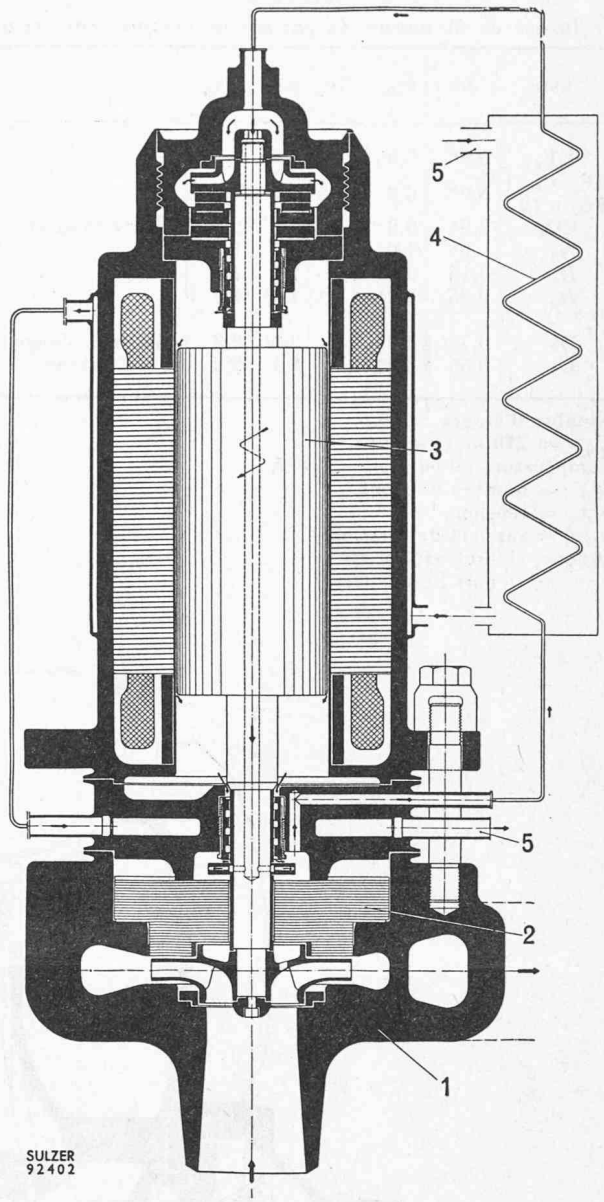


Fig. 3. — Pompe à eau lourde avec moteur en capsule pour 120 ata et 220° C. La pompe est séparée du moteur par une barrière thermique.

1 Pompe
2 Barrière thermique
3 Moteur
4 Echangeur de chaleur
5 Eau de refroidissement

Pompes et compresseurs

A part les machines normales ou spéciales pour l'industrie chimique, la maison Sulzer s'est appliquée au développement de pompes et compresseurs pour l'énergie nucléaire. Nous passerons en revue quelques réalisations.

Pompes de circulation

Le pompage de fluides dangereux ou très coûteux pose le problème de l'étanchéité absolue. Comme aucun joint mobile ne peut être garanti étanche, on est amené nécessairement à admettre un groupe de pompage dont le rotor du moteur électrique est enfermé dans une enceinte hermétique. Les pompes à moteur en capsule sont connues déjà depuis assez longtemps,

TABLEAU 2

Influence de la nature du gaz sur un compresseur axial

Gaz	Ma	σ/σ_0	U/U_0	p_2/p_1	Q/Q_0	
UF_6	0,9*	0,06	0,25	3,8	0,25	Rotor en acier
$CF_2\ Cl_2$ Fréon 12	0,9*	0,2	0,45	4,2	0,45	
CO_2	0,9*	0,6	0,77	4,3	0,75	
N_2	0,9*	1,0	1,0	4,5	1,0	
He	0,45	2,2*	1,5	1,9	1,5	
H_2	0,35	2,2*	1,5	1,4	1,5	
He	0,7	3,0*	2,3	3,8	2,3	Rotor en alliage de titane
H_2	0,55	3,0*	2,3	2,1	2,3	

Nombre d'étages = 10
U_0 = 210 m/s au rotor
Température à l'entrée = 353 °K
Ma = nombre de Mach
σ/σ_0 = tension
p_2/p_1 = rapport de pression
Q/Q_0 = volume aspiré
* = valeurs limites

pour qu'il soit permis de passer sous silence une description détaillée. La caractéristique essentielle de ces machines est d'avoir les paliers lubrifiés par le fluide à pomper, qu'il s'agisse d'ailleurs de gaz ou de liquides. De nombreux essais ont été entrepris par Sulzer pour déterminer les charges limites de ces paliers en fonction de la vitesse et de la température.

La figure 2 représente une des pompes avec moteur en capsule pour la circulation de l'eau lourde dans le réacteur suisse de Würenlingen, développée avec la collaboration de la S.A. des Ateliers de Sécheron, à Genève. Ce type de pompe, de construction légère, est adapté au niveau relativement bas de pression et de température de l'eau lourde. La chaleur dissipée dans le moteur est soutirée d'une part directement par une circulation d'eau ordinaire autour de l'enveloppe du stator du moteur et d'autre part au moyen d'une circulation interne de l'eau lourde dans un échangeur de chaleur disposé en spirale autour du moteur. Cette circulation interne s'opère au moyen d'une petite

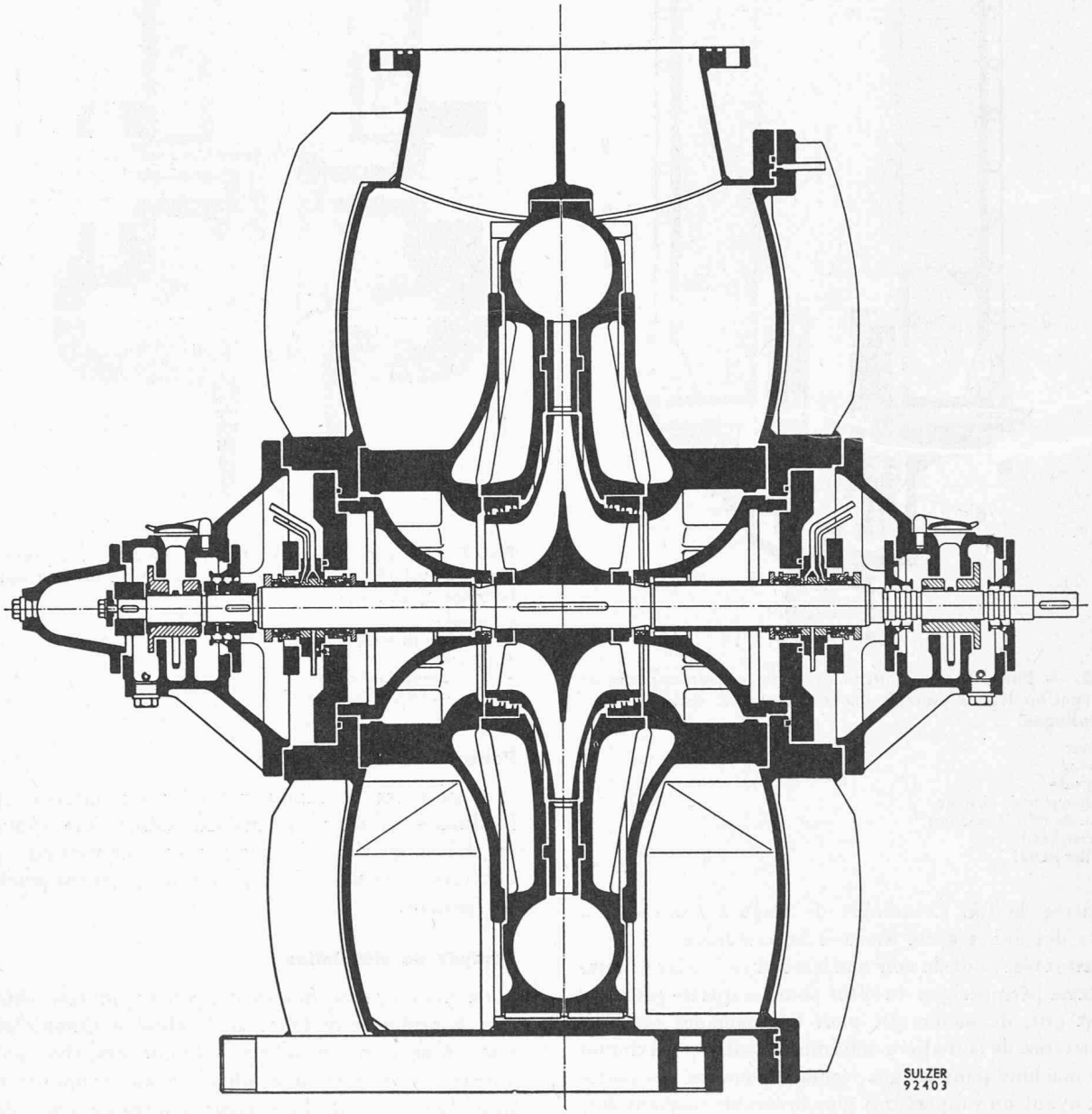


Fig. 4. — Compresseur supersonique avec joints mécaniques.
Grâce au régulateur spécial de la figure 5, les fuites de gaz peuvent être limitées à environ 3 Ncm³/h.

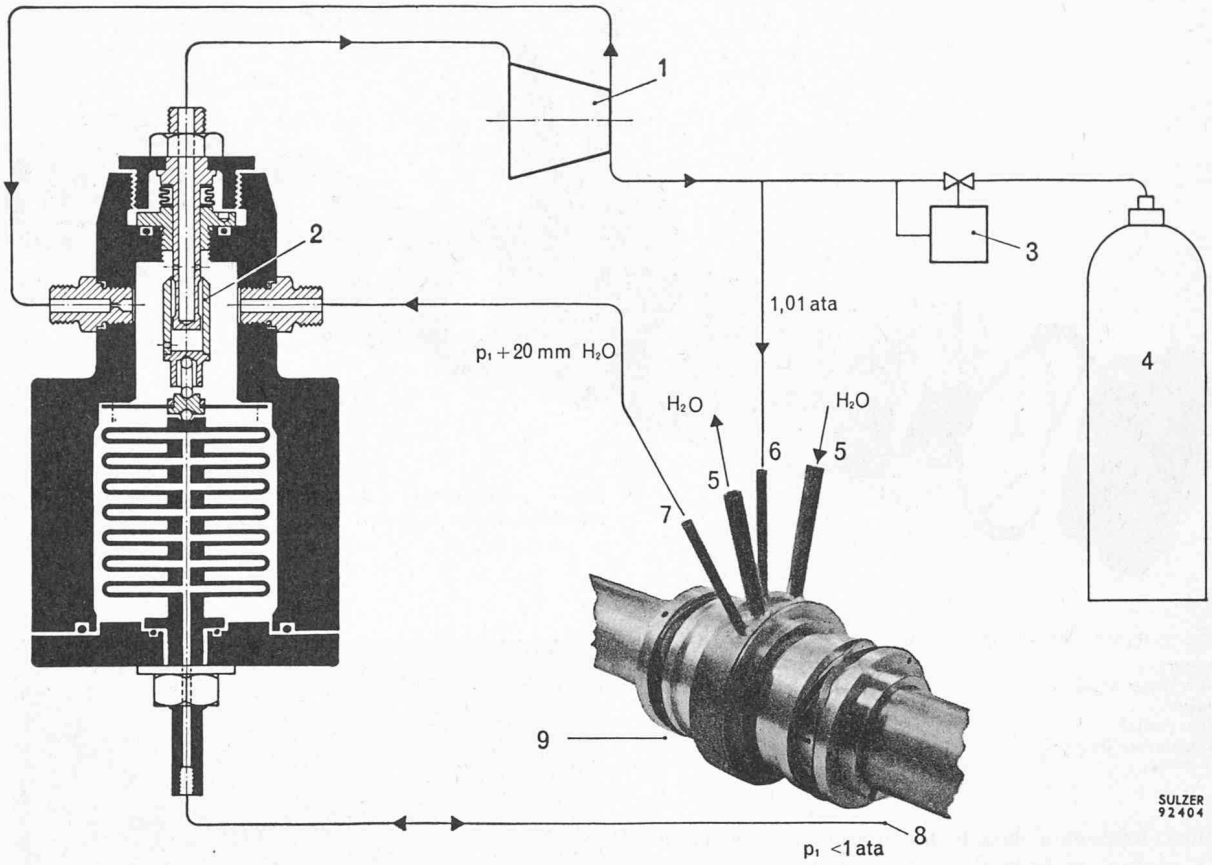


Fig. 5. — Schéma de circulation pour un joint mécanique triple avec gaz de barrage.

1 Compresseur de recirculation (augmente le débit dans le régulateur, afin d'éliminer les instabilités).
2 Régulateur de pression différentielle
3 Régulateur de pression
4 Gaz de barrage
5 Refroidissement
6 Injection gaz de barrage contre atmosphère
7 Gaz de barrage contre gaz du cycle
8 Gaz du cycle
9 Atmosphère

pompe fixée sur l'arbre de la machine. L'enroulement du stator est noyé dans une masse permettant une évacuation facile de la chaleur.

Les étanchéités des brides sont doubles et facilement contrôlables au moyen d'un soutirage prévu entre les deux joints.

Le principe de construction décrit plus haut, à part quelques modifications, permet de passer à des réalisations pour des niveaux de pression et de température bien supérieurs.

La figure 3 donne une coupe de principe à travers une pompe pour 220° C et 120 ata de niveau de pression. La pompe est séparée du moteur par une barrière thermique évitant une transmission directe de la chaleur. Un système de circulation de l'eau de refroidissement permet l'évacuation des calories développées par le moteur et transmises depuis la pompe.

Compresseurs supersoniques (fig. 4)

Il s'agit ici d'une réalisation spéciale dont le problème essentiel est l'étanchéité à l'arbre. Cette étanchéité doit pouvoir fonctionner à sec et limiter les fuites du gaz de barrage à l'intérieur de la machine à une valeur de l'ordre de quelques dizaines de Ncm³ par heure.

Un joint mécanique a été développé permettant de maintenir les fuites à environ 3 Ncm³/heure sous une pression différentielle de quelques centimètres d'eau au moyen d'un régulateur spécial reproduit sur la figure 5.

Le joint mécanique représenté sur la figure 6 permet d'atteindre des vitesses de 20 m/sec sans refroidissement et plus élevées encore avec un refroidissement indirect des surfaces frottantes. L'usure extrêmement faible permet une durée de vie intéressante. Il est bon de remarquer ici que de tels joints ont des caractéristiques d'étanchéité assez variables si l'on ne prend pas des précautions spéciales quant à leur montage et à leur construction. Un effet de pompage qui devrait d'ailleurs disparaître aux faibles pressions a été observé et les vibrations influencent aussi les caractéristiques d'étanchéité. Il est donc nécessaire de veiller à la bonne marche de la machine et au montage correct de tels joints.

Afin d'éliminer toute usure et refroidissement, la maison Sulzer a mis au point un joint à gaz nouveau capable de fonctionner à des vitesses extrêmement élevées. Il consiste en une douille flottante divisée en deux ou trois sections formant un joint double ou triple. Des jeux radiaux très petits ainsi que le système de réglage de la pression du gaz de barrage permettent de maintenir les fuites à une valeur très faible.

Des prescriptions de plus en plus rigoureuses de sécurité imposent quelquefois de placer l'ensemble

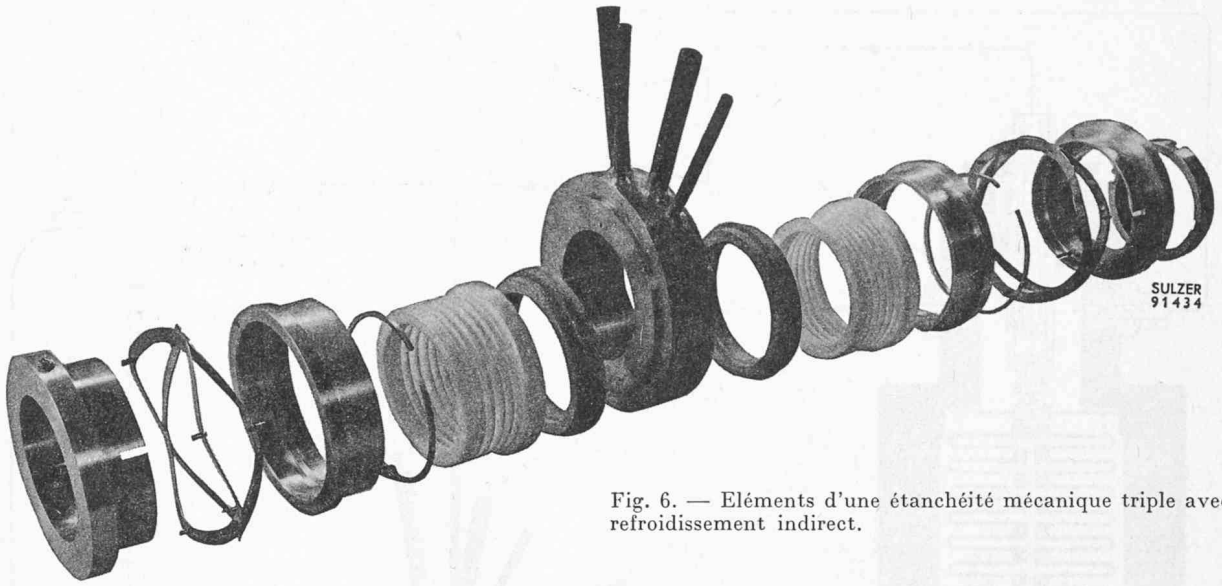
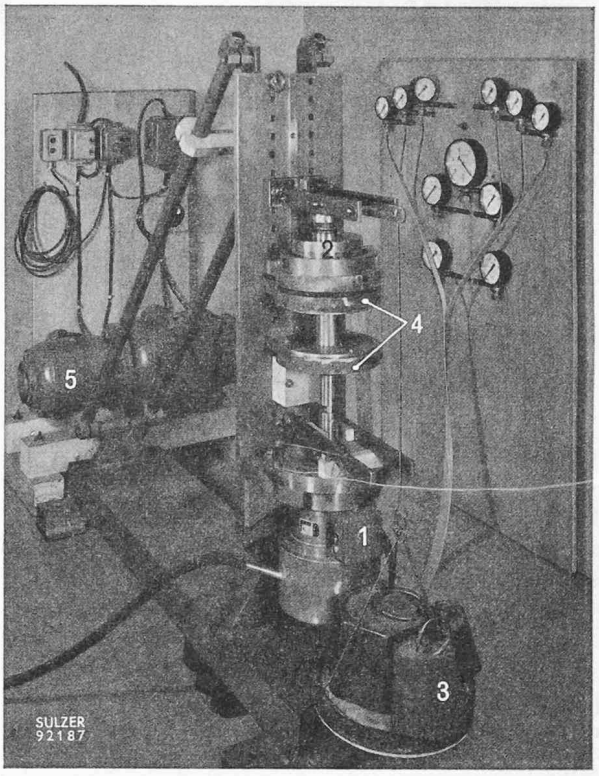


Fig. 6. — Eléments d'une étanchéité mécanique triple avec refroidissement indirect.

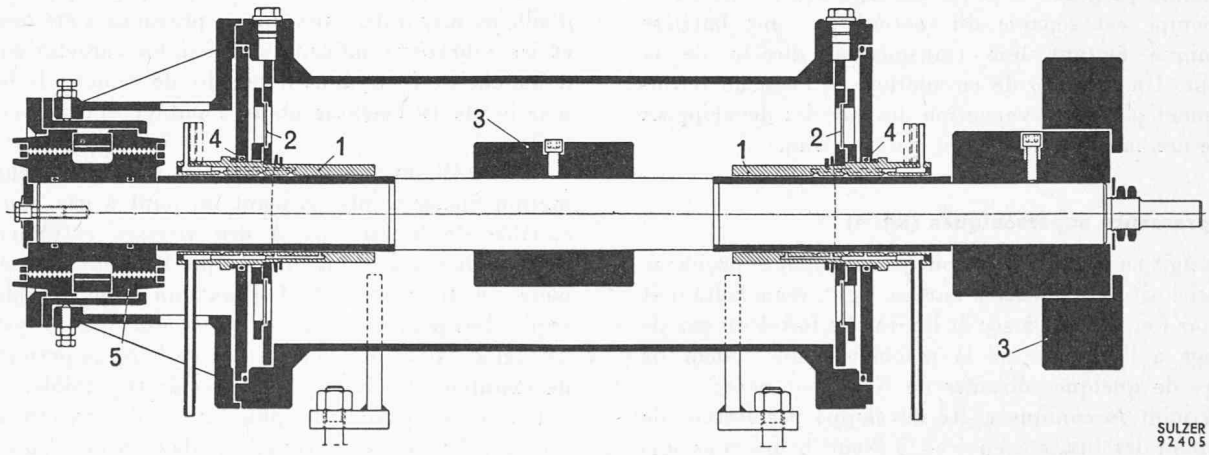
Fig. 8. — Stand d'essai pour paliers à gaz axiaux.
1 Moteur
2 Palier à gaz axial
3 Charge
4 Palier radial
5 Changeur de fréquence



moteur-compresseur dans le gaz à véhiculer. Les paliers à gaz axiaux ou radiaux sont donc des éléments de machine essentiels.

Le stand d'essais reproduit sur la figure 7 permet l'étude de paliers radiaux sous charge et à différents niveaux de pression. Il est en effet essentiel de définir l'influence de cette dernière variable, la charge spécifique admissible variant fortement avec la pression absolue. En bout d'arbre, divers types de paliers axiaux peuvent être montés. Un nombre considérable d'essais ont été entrepris jusqu'à des vitesses de 12 000 t/min pour étudier spécialement les conditions de démarrage et d'arrêt de rotors supportés par des paliers à gaz. La figure 8 montre un stand d'essais pour l'étude de

Fig. 7. — Stand d'essai pour paliers à gaz.
1 Paliers à gaz
2 Supports élastiques
3 Rotors
4 Joints pour essais sous vide partiel
5 Palier axial



paliers à gaz axiaux. Des charges spécifiques de l'ordre de 1,5 kg/cm² ont été atteintes à la pression atmosphérique.

La figure 9 renseigne sur l'allure de la caractéristique d'un compresseur radial supersonique pour gaz lourds (Fréon 12). On remarquera la branche verticale qui pourra être utile dans le cas d'un cycle devant fonctionner à débit constant.

Soufflantes de circulation

La soufflante décrite ici sera utilisée pour la circulation du CO_2 dans le circuit primaire du réacteur nucléaire de la première Centrale Atomique de France E.D.F. 1 en voie d'érection à Chinon.

La coupe, figure 10, renseigne sur le principe de construction de la machine. Le gaz, sous une température de 140° C et sous un niveau de pression de 26 ata entre dans le compresseur par deux tubulures latérales 1 et se répartit dans une chambre annulaire 2 avant de s'écouler au travers d'aubes prédirectrices mobiles 3 destinées au réglage du débit. La machine tourne à la vitesse constante de 2950 t/min.

La machine délivre 1600 kg/sec de CO_2 en créant un rapport de pression d'environ 1,06. La puissance absorbée est un peu supérieure à 9000 kW au point de fonctionnement normal.

La construction d'une telle machine de plus de 3 m

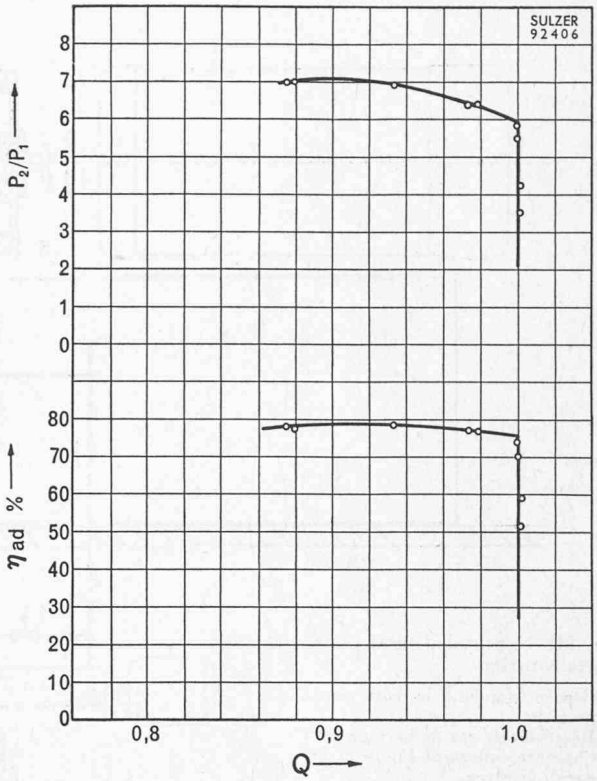


Fig. 9. — Caractéristiques d'un compresseur radial supersonique. Gaz : Fréon 12.

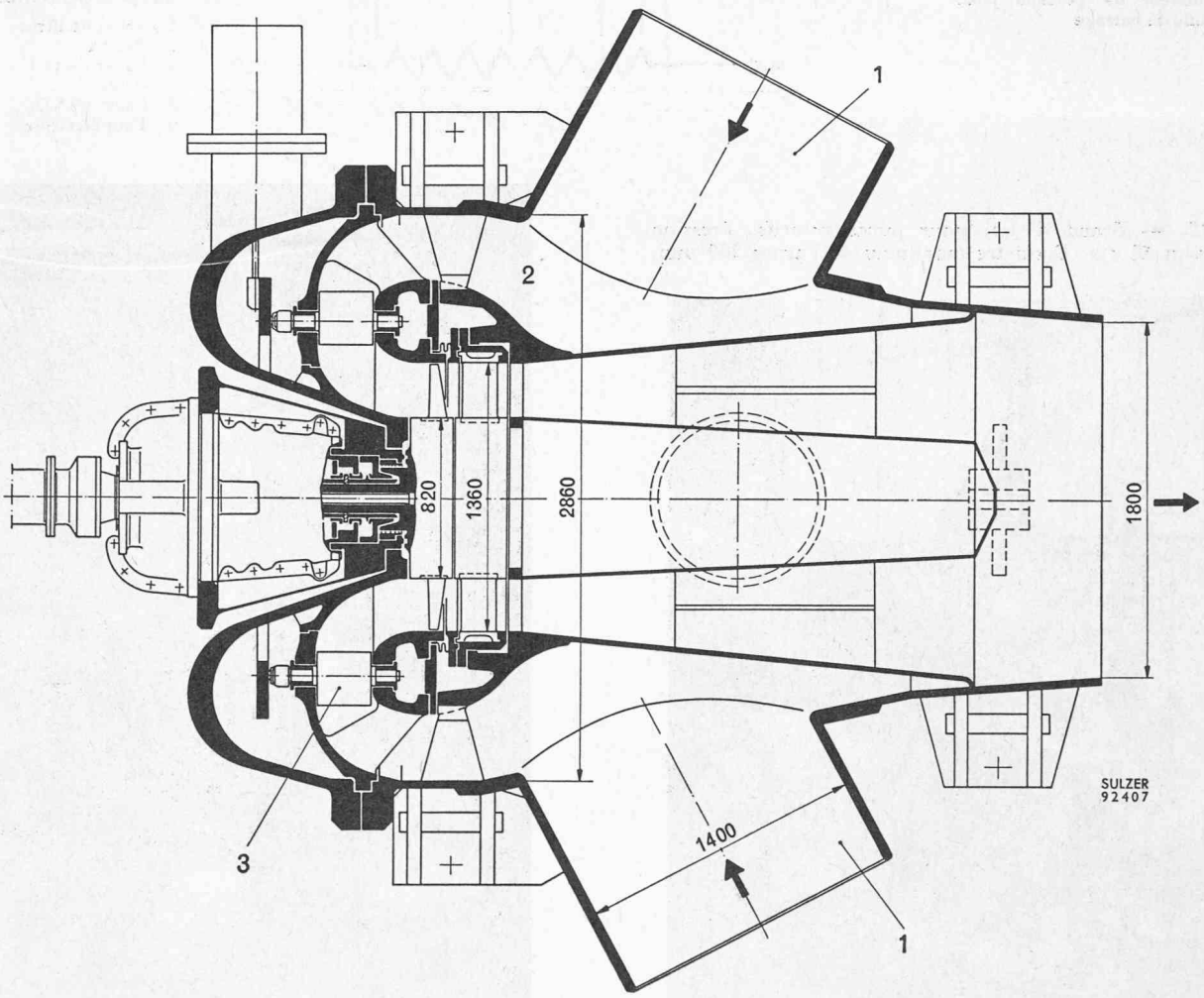


Fig. 10. — Soufflante de circulation pour CO_2. Centrale atomique E.D.F. 1-Chinon. Puissance absorbée 9000 kW.
1 Entrée du gaz 2 Chambre toroïdale 3 Aubes prédirectrices orientables

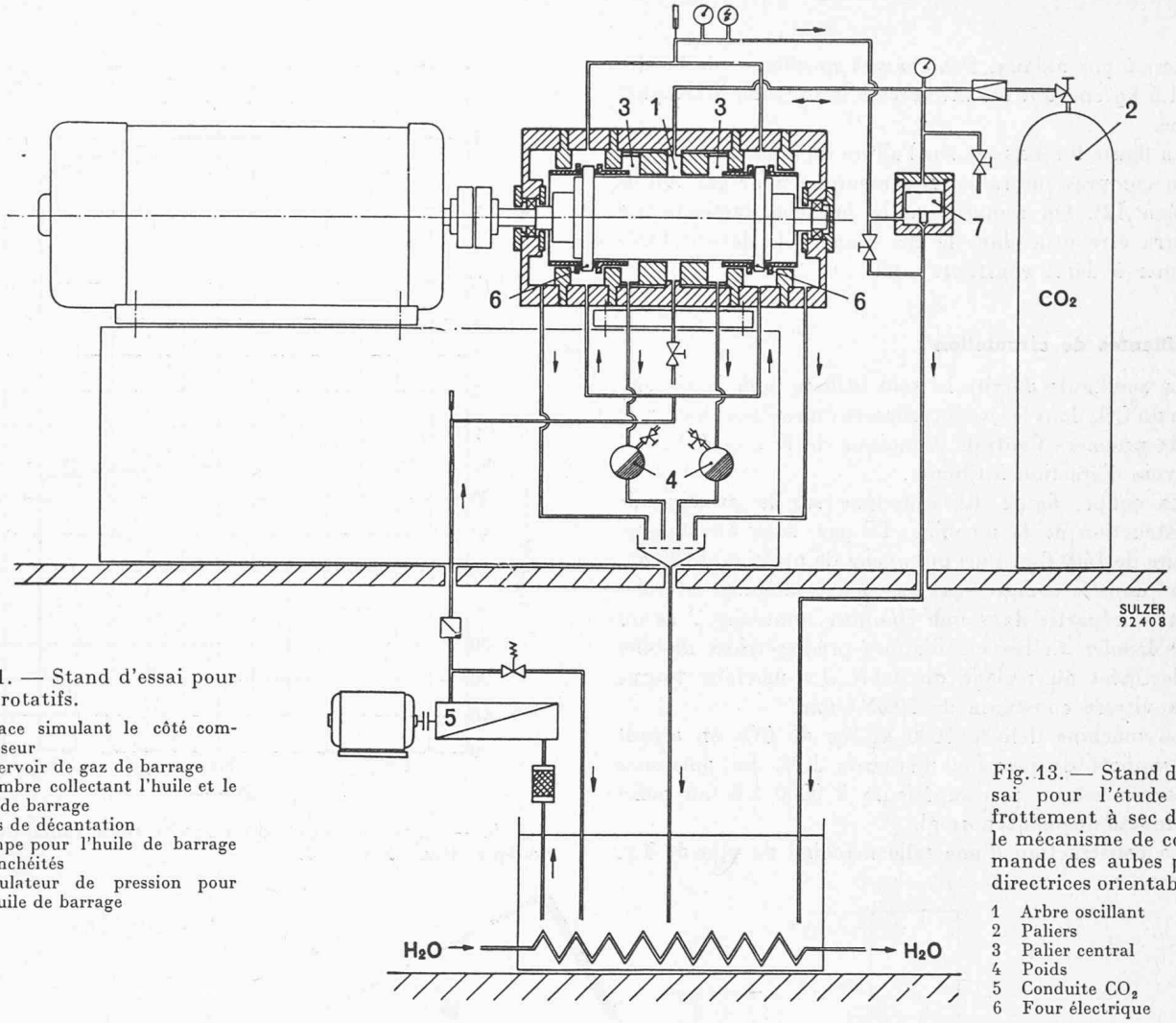


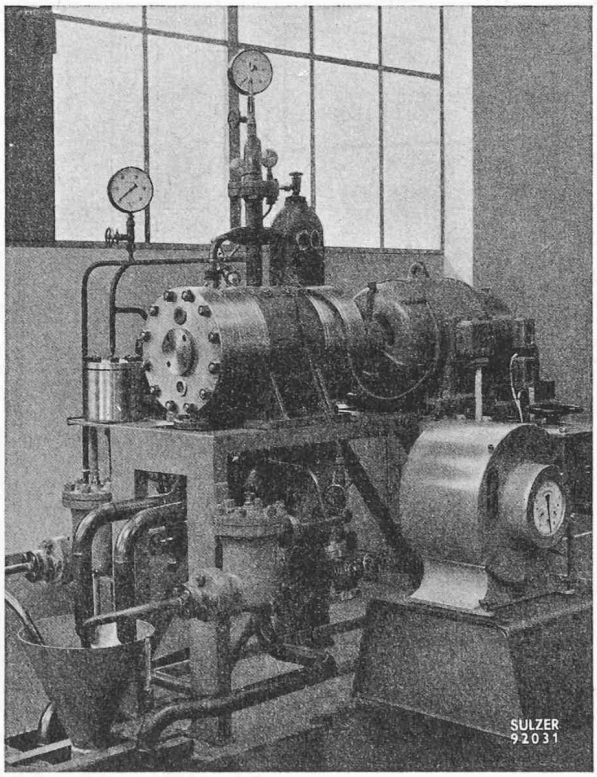
Fig. 11. — Stand d'essai pour joints rotatifs.

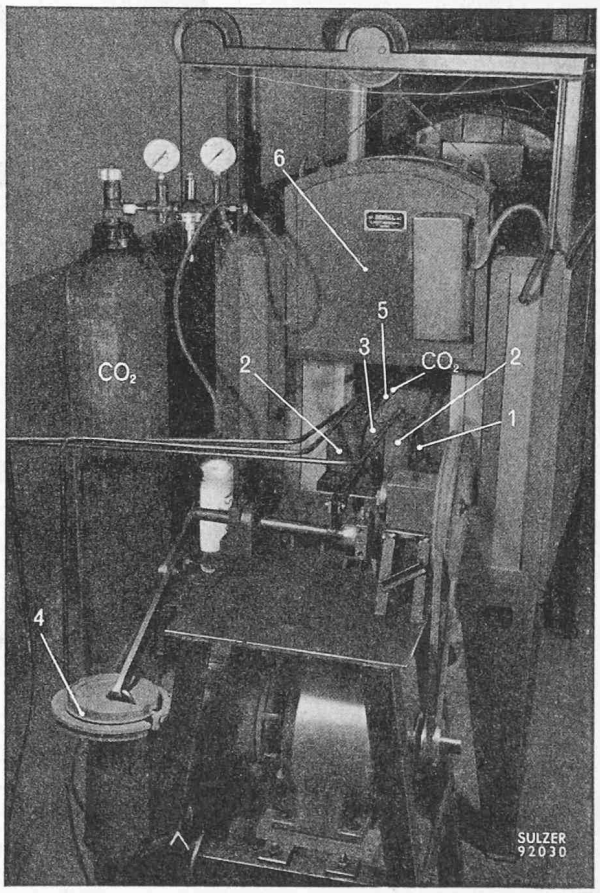
1 Espace simulant le côté compresseur
2 Réservoir de gaz de barrage
3 Chambre collectant l'huile et le gaz de barrage
4 Pots de décantation
5 Pompe pour l'huile de barrage
6 Etanchéités
7 Régulateur de pression pour l'huile de barrage

Fig. 13. — Stand d'essai pour l'étude du frottement à sec dans le mécanisme de commande des aubes prédirectrices orientables.

1 Arbre oscillant
2 Paliers
3 Palier central
4 Poids
5 Conduite CO_2
6 Four électrique

Fig. 12. — Stand d'essai pour joints rotatifs. Pression maximum 50 ata. Diamètre maximum de l'arbre 200 mm.





de diamètre extérieur pose évidemment une foule de problèmes relatifs aux étanchéités fixes et mobiles, au frottement à sec d'organes mobiles situés à l'intérieur de la machine pour la commande des aubes prédirectrices. En particulier, la révision des paliers et du joint à l'arbre peut se faire en maintenant la machine sous 26 ata.

Les questions de sécurité, de réglage, de démarrage et de démontage pour la revision posent aussi des problèmes relativement complexes.

Différents types de joints à l'arbre ont fait l'objet de recherches poussées. Un des principes d'étanchéité est reproduit sur la figure 11 représentant schématiquement le stand d'essais. Afin d'équilibrer les poussées dues au gaz sous pression, deux joints opposés axialement sont soumis aux essais. Diverses constructions ont été étudiées afin d'éliminer les instabilités intervenant dans le fonctionnement des joints mécaniques équilibrés soumis à de hautes pressions différentielles. L'espace 1 représente la bâche de la machine devant être libre de toute contamination par l'huile. Une faible quantité de gaz de barrage peut y être introduite au moyen d'une bouteille 2. Dans l'espace 3 les fuites d'huile éventuelles sont collectées et ramenées avec le gaz de barrage aux pots de décantation 4. L'huile de barrage refoulée par la pompe 5 est introduite dans la chambre des joints 6 à une pression maintenue à une valeur supérieure à celle du gaz de barrage par un régulateur 7.

La figure 12 représente le stand d'essais décrit ci-dessus et permettant l'étude du joint en grandeur naturelle, à la vitesse de 3000 t/min et sous la pression normale de 26 ata.

L'étude du frottement à sec à la température de marche de 140° C et dans une atmosphère de CO_2 a été faite au moyen du dispositif reproduit sur la figure 13. Un arbre oscillant 1 est supporté par deux paliers 2, chargés par le palier central 3 au moyen d'un poids 4. Des joints latéraux évitent les fuites de CO_2 sec injecté par la conduite 5. L'appareil d'essais peut être introduit dans un four électrique 6 pour y être soumis à la température désirée. Il est en effet essentiel pour l'étude du frottement à sec de reproduire exactement les conditions réelles de fonctionnement. La présence d'humidité ou d'autres fluides peut modifier complètement les propriétés lubrifiantes des matières en contact. Contrairement aux essais de Calder Hall, le graphite s'est révélé excellent et même supérieur au MoS_2 ou à l'Ag lorsqu'il est en contact avec de l'acier inoxydable.

Il est évident que des essais détaillés sur modèles ont été faits pour déterminer les tensions et les déformations induites par la pression dans la bâche de la machine ainsi que le spectre de vibration et la résistance des aubes, ces dernières étant fortement chargées.

Enfin, la figure 14 montre la maquette destinée aux essais aérodynamiques de la machine (échelle 1 : 2,3). On remarquera une des tubulures d'aspiration 1 et les aubes orientables prédirectrices 2.

La caractéristique de la machine dans son domaine de réglage est reproduit sur la figure 15. La variation du débit s'effectue à nombre de tours constant à l'aide d'aubes prédirectrices orientables.

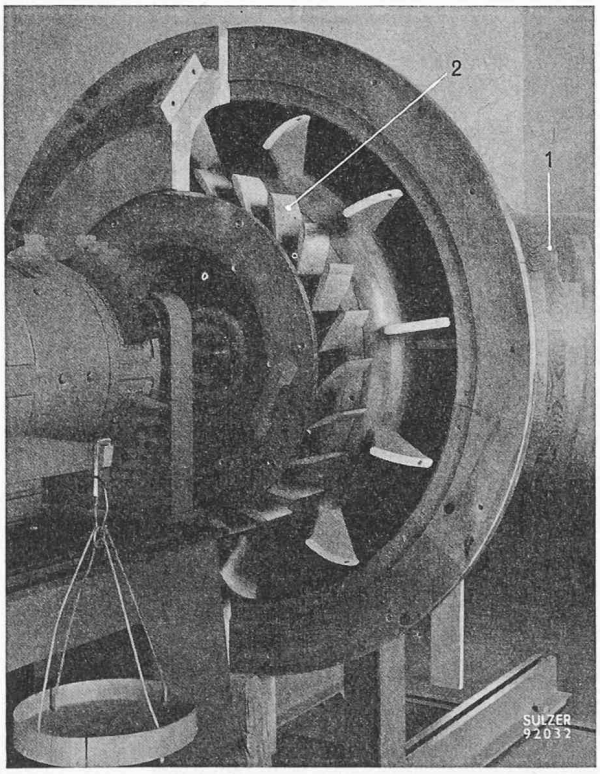


Fig. 14. — Modèle pour essais aérodynamiques, partiellement ouvert.

1 Conduite d'aspiration
2 Aubes prédirectrices orientables

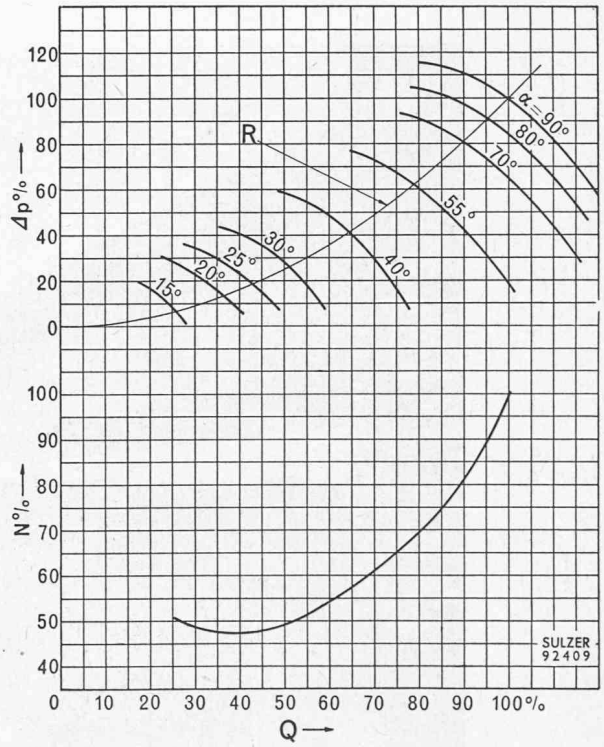


Fig. 15. — Caractéristiques à nombre de tours constant d'une soufflante de circulation pour CO_2.

Δp = Pression générée
N = Puissance absorbée
Q = Débit
α = Angle de calage des aubes prédirectrices mobiles
R = Résistance du circuit