

VOYAGES AU COEUR DU VIDE

Pompes à vide cinétiques à fluide moteur

Pompes à fluide moteur

Une distinction de base doit être faite entre les éjecteurs à vapeur et les pompes à diffusion.

Les éjecteurs sont prédominants pour la production de vide grossier et moyen, les pompes à diffusion pour la production de vide poussé, mais aussi d'ultra-vide. Ces deux types de pompes travaillent avec un fluide moteur à l'état de vapeur ou liquide à très grande vitesse d'écoulement (vapeur d'huile, de mercure ou d'eau, et jet d'eau). Les particules de gaz à aspirer passent du récipient dans le jet de fluide moteur qui leur transmet par chocs des impulsions dans la direction de pompage. Langmuir a utilisé ces conceptions de base de Gaede pour la construction (1915) de la première pompe à

diffusion. Pour obtenir une vitesse d'écoulement de vapeur aussi élevée que possible, il fit s'écouler le jet à travers une buse, à vitesse supersonique. La vapeur de fluide moteur dont est constitué le jet est ensuite condensée sur la paroi extérieure refroidie pendant que le gaz transporté est habituellement recomprimé dans un ou plusieurs autres étages en série avant d'être aspiré par la pompe primaire. Les rapports de compression que l'on peut obtenir avec les pompes à fluide moteur sont étonnamment élevés: si on a une pression de 10^3 mbar à la tubulure d'aspiration de la pompe et un vide primaire de 10^{-2} mbar, le gaz aspiré est comprimé d'un facteur 10^5 !

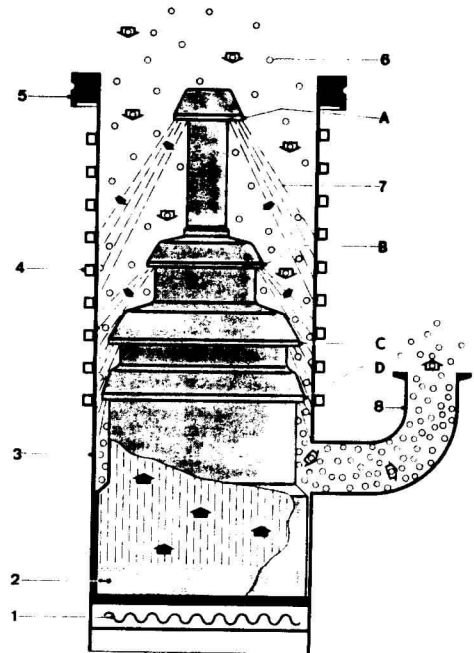
Pompes à diffusion d'huile

Les pompes à diffusion se composent pour l'essentiel d'un corps de pompe (3) à paroi refroidie (4) et d'un système de buses à trois ou quatre étages (A-D). L'huile servant de fluide moteur se trouve dans la chambre d'ébullition (2) où elle est vaporisée par chauffage électrique (1). La vapeur de fluide moteur s'écoule en montant dans la cheminée et sort à une vitesse supersonique du système de buses annulaires (A-D). Le jet s'élargit en forme de parapluie vers la paroi où il est condensé et se réécoule en film dans la chambre d'ébullition.

La diffusion de l'air ou des gaz à pomper dans le jet s'effectue si vite qu'il est presque saturé d'air ou de gaz.

La pression côté vide primaire influence aussi le jet de vapeur. On appelle stabilité au vide primaire (ou pression d'amorçage) le vide primaire auquel la capacité d'aspiration de la pompe diminue considérablement, ou chute complètement.

La pression finale atteignable dépend du mode de construction de la pompe, de la pression de vapeur du fluide utilisé, de sa condensation aussi complète que possible sur la paroi et de la propreté du récipient. Par ailleurs la rétrodiffusion de vapeur de fluide moteur vers le récipient doit être réduite dans toute la mesure du possible à l'aide de baffles ou de pièges réfrigérés appropriés.



1. Chauffage
2. Chambre d'ébullition
3. Corps de pompe
4. Segment de refroidissement

5. Baffle à la prise
6. Entrée d'air
- A, B, C, D. Buses

Mode de fonctionnement d'une pompe à diffusion



VOYAGES AU COEUR DU VIDE

Pompes à diffusion de mercure

Historiquement parlant, les pompes à diffusion fonctionnant au mercure, appartiennent aux premières pompes de ce type. Elles furent fabriquées d'abord tout en verre, puis rapidement en métal et connurent alors une expansion rapide et générale dans l'industrie. Les pompes à diffusion de mercure sont la plupart du temps utilisées avec des pièges réfrigérés. Pour les pressions jusqu'à 10⁻¹ mbar, on peut utiliser comme agent réfrigérant la neige carbonique, l'alcool prérefroidi (méthanol par exemple) ou le fréon[®].

Dans la gamme de pression de 10⁻¹ mbar et en dessous, l'emploi de l'azote liquide est nécessaire.

Les pompes à diffusion de mercure en métal de la série « QUICK » sont seulement à deux étages. Les dispositifs de dégazage et de fractionnement sont inutiles car le mercure ne capte aucun gaz ni impuretés du récipient à vide, et ne fournit aucun produit de décomposition. Suite aux difficultés de protection contre les dangereuses vapeurs de mercure, ces pompes à diffusion ne sont pratiquement plus utilisées.

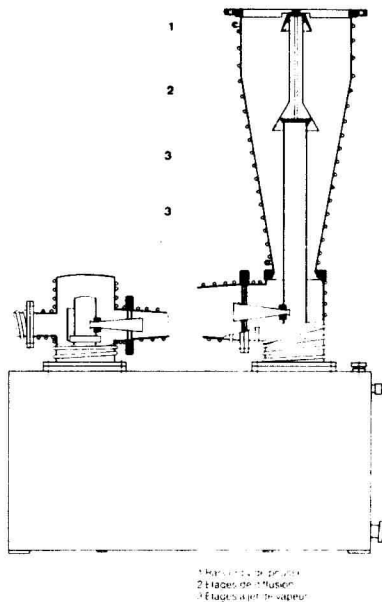
Ejecteurs à vapeur d'huile

Le mécanisme de pompage d'un éjecteur ou pompe à jet de vapeur peut être expliqué à l'aide de la figure ci-contre. La vapeur de fluide moteur entre sous haute pression p_1 dans la buse motrice (1) constituée d'une tuyère de Laval. De là elle est détendue à la pression d'aspiration p_2 . A cette détente est liée, par suite du principe de conservation de l'énergie, une augmentation de la vitesse. La vapeur de fluide moteur ainsi accélérée traverse alors la chambre de mélange (3) reliée au récipient à évacuer (4).

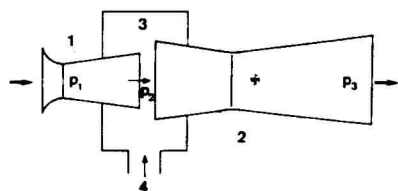
Les particules de gaz provenant du récipient sont entraînées par le jet de vapeur. Le mélange vapeur motrice/gaz pénètre alors dans la buse dynamique en forme de tube de Venturi (2). Là, le mélange gaz-vapeur est comprimé à la pression du vide primaire p_3 . Puis le fluide moteur est condensé sur les parois refroidies de la pompe pendant que le gaz entraîné avec lui est aspiré par la pompe primaire.

Le système de buse des Boosters (voir figure) est composé de deux étages à diffusion qui assurent la capacité d'aspiration élevée entre 10⁻¹ et 10⁻² mbar suivis de deux étages à jet de vapeur raccordés en série qui assurent le transfert de gaz important aux hautes pressions.

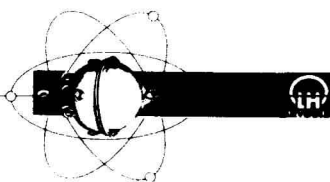
L'insensibilité aux poussières et aux vapeurs solubles dans le fluide moteur est obtenue par une vaste chambre d'ébullition et une grande réserve de fluide.



Schema d'un éjecteur à vapeur d'huile (Booster)



Mode de fonctionnement d'un étage à jet de vapeur.



VOYAGES AU CŒUR DU VIDE

Fluides moteurs

Les fluides moteurs utilisés dans les pompes à vide cinétiques jouent un rôle essentiel.

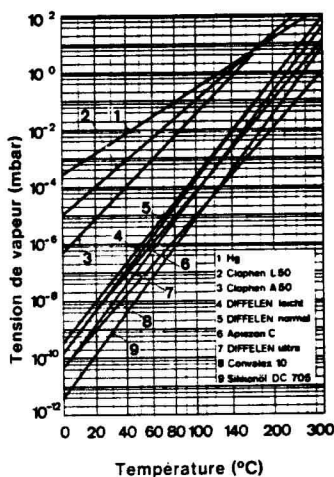
a) Mercure

Le mercure est très bien approprié comme fluide moteur car c'est un élément chimique qui ne donne pas de produits de décomposition en s'évaporant, et qui n'est pas fortement oxydé par les entrées d'air. Il a cependant à la température ambiante une tension de vapeur relativement élevée de 10^{-3} mbar. Si on veut atteindre des pressions totales basses, l'emploi de pièges réfrigérés à l'azote liquide est donc nécessaire ; avec leur aide on peut atteindre des pressions totales finales de 10^{-10} mbar.

b) Huiles

Les huiles convenables pour les pompes à diffusion sont les huiles minérales, les huiles de silicone et les huiles à base de polyphényléthers. Les propriétés de ces huiles (très basse tension de vapeur, résistance thermique et chimique, en particulier par rapport à l'air) déterminent leur choix dans un type de pompe donné en fonction du vide final à atteindre.

La tension de vapeur des huiles est inférieure à celle du mercure. Par contre les fluides moteurs organiques sont plus sensibles pendant le fonctionnement que le mercure, car les huiles peuvent être décomposées par des entrées d'air prolongées. Cependant, les huiles de silicone résistent plus longtemps aux entrées d'air fréquentes et prolongées dans la pompe en fonctionnement.



Les huiles de silicone DC 704, DC 705, sont des corps chimiques homogènes (polymères organiques). Elles se distinguent par leur grande résistance à l'oxydation en cas d'entrées d'air, et par une remarquable stabilité thermique.

La DC 705 a une tension de vapeur extrêmement basse et est donc particulièrement appropriée là où des pressions très basses doivent être produites.

La Convalex 10 est un polyphényléther. Ce fluide est toujours à recommander quand on demande une résistance exceptionnelle à l'oxydation et que les huiles de silicone peuvent avoir des effets nuisibles.

L'APIEZON AP 121 est une huile exceptionnellement résistante chimiquement et thermiquement qui fournit la puissance d'admission élevée nécessaire avant tout pour les pompes à jet de vapeur dans le domaine du vide moyen. Elle permet d'atteindre des pressions totales finales de l'ordre de 10^{-4} mbar.

Tension de vapeur saturante de fluides moteurs pour pompes à diffusion d'huile et de Mercure.

Rétrodiffusion des fluides moteurs et son élimination

Par suite de chocs inter-moléculaires à la sortie de la buse supérieure d'une pompe à diffusion, des molécules de fluide moteur ne se dirigent pas dans le sens de l'écoulement vers les parois froides de la pompe, mais peuvent également repartir en direction du récipient. Pour éliminer si possible complètement cette migration en retour, différentes mesures doivent être prises simultanément :

- les buses côté vide poussé et la forme de la partie du corps de pompe entourant ces buses doivent être étudiées pour qu'aussi peu que possible des particules de vapeur ne s'écartent du jet de vapeur entre la sortie des buses et la paroi refroidie de la pompe.
- le refroidissement de la paroi de la pompe doit être calculé en sorte qu'une condensation aussi complète que possible du fluide moteur se produise, et qu'il s'écoule bien après condensation.
- suivant la pression finale exigée, un ou plusieurs pièges à fluide moteur refroidis, pièges à vapeurs (baffles) ou pièges réfrigérés, doivent être intercalés.

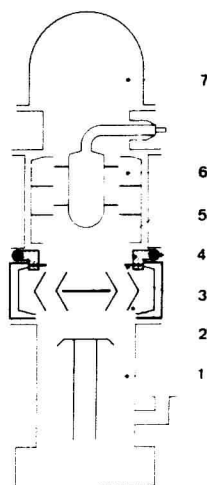
Élimination de la migration d'huile en retour dans l'enceinte à vide

Lors de la construction de baffles ou pièges réfrigérés pour les pompes à diffusion d'huile, deux exigences doivent être satisfaites avant tout :

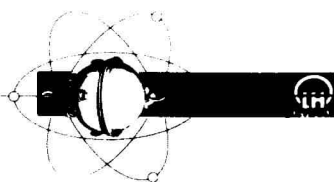
d'une part, toutes les particules de fluide moteur migrant en retour doivent être retenues (condensées) sur les surfaces intérieures refroidies ;

d'autre part, les surfaces de condensation doivent être conçues et disposées géométriquement de façon à ce que la conductance d'écoulement reste aussi élevée que possible.

Si on a des exigences extrêmes concernant l'absence d'huile dans les vides produits par des pompes à diffusion, on doit alors employer des pièges réfrigérés à l'azote liquide, donc à une température de -196°C



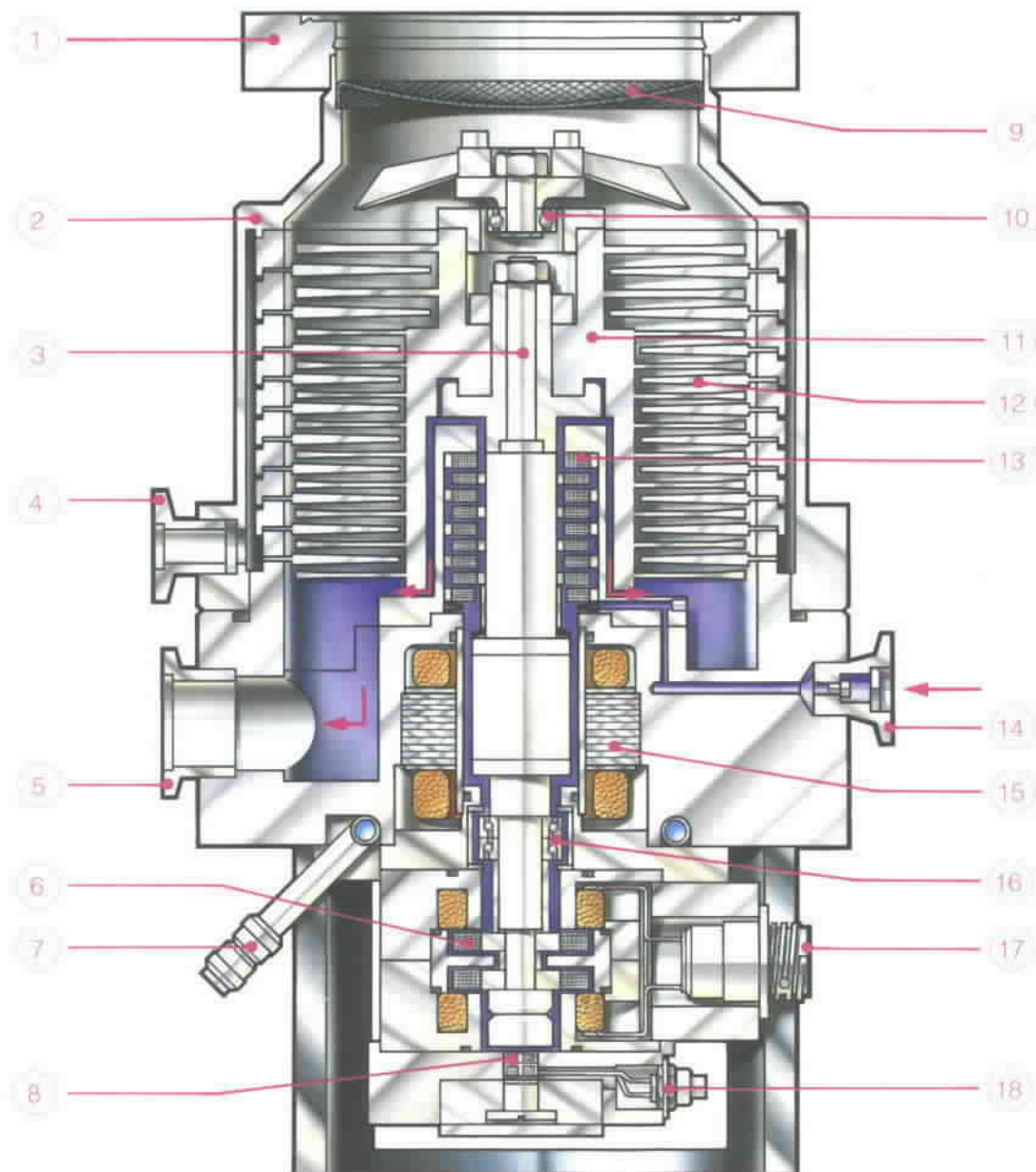
Disposition schématique de baffles, barrières-écran et pièges réfrigérés au dessus d'une pompe à diffusion d'huile.



Attractive price • Any mounting position

Sectional view of
TURBOVAC 340 M

- | | | | |
|----|--------------------------|----|---|
| 1 | High vacuum port | 11 | Rotor |
| 2 | Housing | 12 | Stator elements |
| 3 | Motor shaft | 13 | Permanent magnetic bearing at center of gravity |
| 4 | Vent port | 14 | Purge port |
| 5 | Fore vacuum port | 15 | DC-motor |
| 6 | Stabilizer* | 16 | Lower touch-down bearing |
| 7 | Cooling water nozzle | 17 | Electrical connection for stabilizer |
| 8 | Axial sensor | 18 | Electrical connection for axial sensor |
| 9 | Inlet screen | | |
| 10 | Upper touch-down bearing | | |



VOYAGES AU COEUR DU VIDE

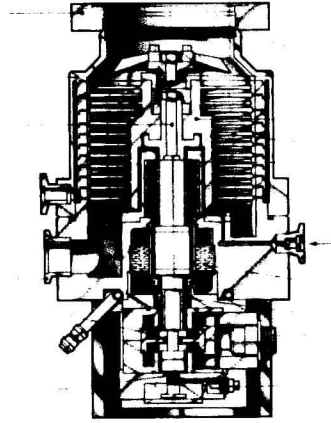
Pompes a vide cinétiques mécaniques

Pompes turbomoléculaires

Le principe de la pompe moléculaire repose sur le fait que chacune des particules d'un gaz à pomper subit une accélération en direction du transport gazeux sous l'effet des chocs avec les surfaces d'un rotor en mouvement rapide. Les surfaces du rotor, la plupart du temps disposées en couronnes, constituent avec les surfaces au repos d'un stator un espace intermédiaire dans lequel le gaz est transporté en direction de la tubulure de vide primaire.

Dans une pompe turbomoléculaire, par une disposition des ailettes suivant le modèle d'une turbine, les distances entre le stator et les couronnes du rotor ont pu être portées à des ordres de grandeur de plusieurs millimètres. Ce qui augmente la sécurité de fonctionnement.

La pompe est un compresseur axial dont les parties exerçant l'action de pompage sont constituées d'un stator (2) et d'un rotor (3). Stator et rotor sont équipés d'ailettes. Chaque paire d'anneaux à aubes constitue un étage, de sorte que la pompe dans son ensemble est composée d'un grand nombre d'étages raccordés en série. Le gaz à pomper parvient directement à travers l'ouverture de la bride d'aspiration (1), dans les étages supérieurs, dits étages d'aspiration, équipés de longues aubes pour présenter une surface active aussi grande que possible. Le gaz emprisonné dans ces étages est conduit dans les étages de compression à aubes plus courtes où il est comprimé à la pression du vide primaire. Le rotor est fixé à un arbre d'entraînement (3) logé dans deux roulements à billes (10 et 16). L'arbre est entraîné directement par un moteur moyenne fréquence (15). La chambre du moteur est sous vide primaire ce qui évite le passage de l'arbre tournant vers l'atmosphère extérieure.



Section d'une turbomoléculaire de ca 350 l/s
à paliers magnétiques

- | | |
|--|--|
| 1 Entrée ultra haut vide | 10 Roulement à billes |
| 2 Corps serrant les ailettes du stator | 11 Rotor |
| 3 Axe moteur | 12 Ailettes du stator |
| 4 Bride de remise à l'air | 13 Aimant permanent au centre de gravité |
| 5 Bride vide primaire | 14 Bride de purge |
| 6 Stabilisateur | 15 Moteur DC |
| 7 Refroidissement par eau | 16 Roulement à billes |
| 8 Senseur axial | 17 Connexion stabilisateur |
| 9 Grille | 18 Connexion senseur axial |

Caractéristiques :

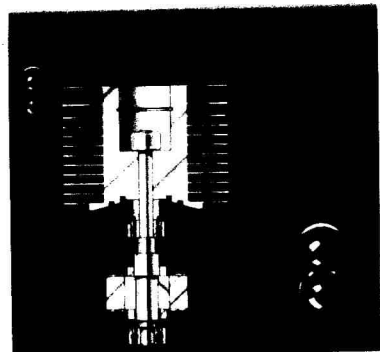
Vitesse de pompage pour N₂: 400 l/s

Vitesse de pompage pour He: 400 l/s

Vitesse de rotation : 56.600 tr/min

Vide limite : selon DIN ca 10⁻¹⁰ mbar

La pompe turbomoléculaire « à paliers magnétiques » répond aux plus hautes exigences de fonctionnement sans vibrations et d'absence d'hydrocarbures. Un palier axial à l'extrémité supérieure du stator soulève le rotor et le maintient sans frottements en suspension. Deux paliers radiaux assurent le guidage latéral et la stabilisation du rotor. La suspension magnétique ne demande, par son principe même, aucune lubrification, et la pompe est donc absolument exempte d'hydrocarbures.



Axe d'une pompe turbomoléculaire avec ses ailettes et roulements à billes en céramique (vitesse de rotation ca 80 000 tr/min)

