

Pompe turbomoléculaire

Principe de fonctionnement.

Turbine composée d'un empilement de rotors et stators à ailettes, disques ou cylindres, tournant à grande vitesse, et "imposant" aux molécules la direction "vers la sortie".

Malgré son nom, ce n'est pas une turbine au sens où on l'entend en hydraulique, ou comme dans un aspirateur ménager. Il n'y a pas de pompage par entraînement, mais "orientation préférentielle" des directions probables des trajectoires des molécules "égarées" à l'orifice de la pompe !

Domaine de pression : de 10 mb ou de 10^{-2} mb à quelques 10^{-10} mbar, selon le concept de pompe.

Débit-volume disponible : de 50 l/s à 5000l/s

Applications et précautions : pompe propre, sans hydrocarbures, très souple d'usage, disponible dans une gamme vaste de débit et de domaines de vide.

Alternative élégante à la pompe à diffusion d'huile, surtout dans les débits faibles et moyens.

Nécessite impérativement une pompe primaire. Les pompes turbomoléculaires classiques exigent une pompe primaire ayant un vide limite de 10^{-2} mb ou mieux, donc une pompe à palette. Les pompes dites hybrides, associant des étages turbomoléculaires et des étages de type Gaede (cylindres) ou Holweg (disques) se contentent d'une pompe à membrane ayant un vide limite de 10 mbar, ou d'une pompe de type scroll, au vide limite de $5 \cdot 10^{-2}$ mb. Ces deux configurations donnent l'avantage d'un ensemble entièrement "sec", c'est à dire sans hydrocarbures.

Qualités : Pompe très souple d'usage, propre. Vitesse de pompage élevée sur les gaz lourds.

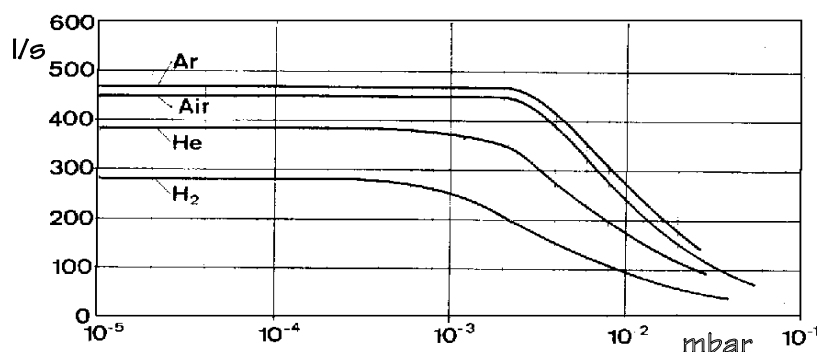
Limitations : Pompe chère à l'achat, de maintenance délicate, d'où nécessité d'un SAV pouvant aussi être chère. Espérance de vie variable. Les pompes à paliers magnétique n'ont théoriquement pas d'entretien du tout, mais sont plus chères à l'achat.

Les turbo traditionnelles ont une vitesse de pompage faible sur les gaz légers. Ceci est amélioré sur les pompes hybrides. Il existe des modèles spécialement conçus pour l'hydrogène ou l'hélium.

Peut introduire des vibrations gênantes, voire une forte présence sonore. Il existe des modèles spécifiques à faible niveau de vibration (pour microscopes électroniques, par ex.). Le rotor tournant à grande vitesse, le montage de ce type de pompe sur une installation mobiles demande des précautions (effet de gyroscope). Il est impératif d'éviter les déplacements brutaux.

Courbes caractéristiques :

Les courbes caractéristiques indiquent le débit en fonction de la pression et en fonction des gaz. Le débit est constant dans la plus grande partie du domaine d'utilisation.



Les points remarquables à considérer sont :

Le vide limite : il dépend de la pompe elle-même et du type de pompe primaire choisi. Certaines pompes hybrides ont un vide limite moins bon avec une pompe à membrane qu'avec une pompe à palette. L'obtention de l'ultra-vide nécessite un étuvage de la pompe turbo elle-même.

La pression limite d'amorçage : c'est la pression maximum où un effet de pompage est possible. Cette donnée caractérise le type de pompe ; les valeurs typiques sont de 10^{-2} mb pour une pompe classique, 1 à 10 mb pour une pompe hybride. Elle est à relier à la pression maximale de service, qui ne figure pas sur les courbes.

De par son principe de fonctionnement, la pompe turbo pompe mieux les gaz lourds que les gaz légers, en particulier He et H₂ sont mal pompés.

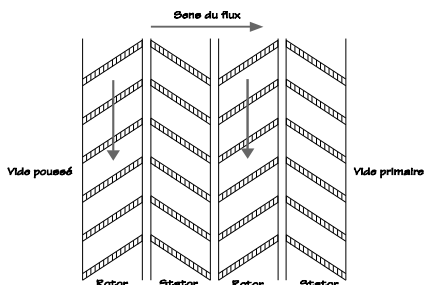
Détail du principe de fonctionnement

Quoique son aspect (et son nom) rappelle la turbine, son principe est radicalement différent. La pompe fonctionne en régime moléculaire, où il n'est plus question de viscosité du gaz et où les libres parcours moyens des molécules sont très grands par rapport aux dimensions en jeu.

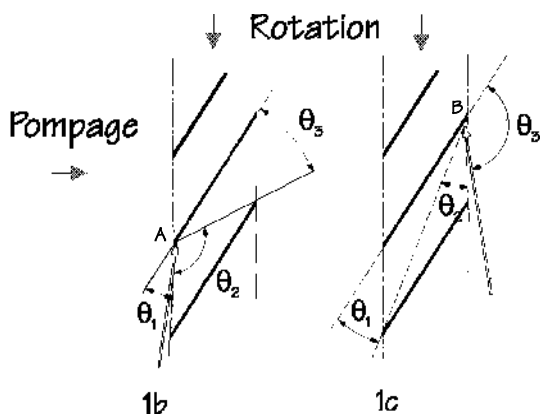
L'effet de pompage est basé sur le principe de Knudsen, selon lequel la direction de départ d'une molécule d'une surface est indépendante de la direction d'arrivée, et suit une loi en cosinus par rapport à la normale à la surface.

La pompe est constituée d'un empilement de disques à ailettes, rotors et stator alternés. Ces ailettes sont inclinées en sens inverse sur stator et rotor, et d'un angle variant du côté vide poussé au côté vide primaire. Le rotor tourne avec une vitesse tangentielle supérieure à la vitesse moyenne des molécules (300 m/s).

La première figure montre un exemple d'agencement des aubes.



Dans le cas du pompage, une molécule venant du récipient et se collant en A, peut repartir (fig. 1b) :



dans le secteur θ_1 , elle n'est pas pompée;

dans le secteur θ_2 , cas le plus probable, et elle va se coller sur l'envers de l'aube précédente ;

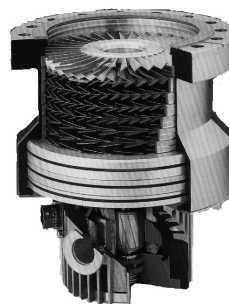
dans le secteur θ_3 , et elle quitte alors le rotor dans le "bon" sens, avec une composante de vitesse venant de la turbine ;

Dans le cas de la rétrodiffusion (fig. 1c), la molécule repartant de B a des valeurs angulaires $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, modifiées défavorables à la rétrodiffusion. La probabilité de partir vers l'aval ($\theta_2 + \theta_3$) est plus grande que de retourner vers le récipient. Et si elle va vers le récipient (θ_1), il y a une bonne probabilité qu'elle soit arrêtée à l'étage suivant, avant de quitter l'environnement du rotor.

Parallèlement toute molécule quitte le rotor avec sa vitesse moléculaire (thermique) additionnée d'une composante orientée dans le sens de rotation. Elle a donc une probabilité plus grande de coller dans le stator suivant, que près de son bord coté récipient à vider (équivalent du point A).

Chaque paire rotor/stator joue le rôle d'un étage de compression. Au fil des étages, la densité moléculaire augmente, les chocs entre molécules deviennent possibles et le libre parcours moyen diminue. L'angle des aubes (par rapport à l'axe) augmente et l'interstice diminue. On atteint ainsi la limite du régime intermédiaire.

Les pompes hybrides ajoutent aux étages "turbine" des étages de Gaede ou de Holweg appelés étages moléculaires. Ce sont des disques ou des cylindres rotors, pris entre des stators munis d'un canal hélicoïdal. La molécule est conduite dans le canal, dont elle décolle pour se coller au rotor qu'elle quitte avec sa vitesse propre ajoutée de la composante de rotation du rotor. Ainsi elle est de pas en pas conduite vers la sortie. La section de la rainure diminue, et vu ses dimensions et la pression dans ces étages, on passe progressivement du régime moléculaire au régime visqueux, avec apparition d'un mouvement d'ensemble. La présence de ces étages permet à la fois des taux de compression plus grands sur les gaz légers et des pressions de refoulement plus élevées, permettant l'utilisation de pompes sèches de type scroll ou à membrane..



Coupe d'une pompe turbo hybride (doc Varian)