

ETUDE SPECIALISEE

# Utilisation de pompes multiétagées à rotor noyé – Chaque étage compte

Dr. G. Feldle

Utilisation de pompes multiétagées à rotor noyé –  
Chaque étage compte

Dr. G. Feldle

## INTRODUCTION

Dans l'industrie chimique et en pétrochimie, on utilise principalement des pompes centrifuges monocellulaires. En raison de la législation sur la protection de l'environnement (par exemple la transposition de la directive « TA-Luft ») la part des pompes sans étanchéité sur l'arbre augmente en permanence. Alors que durant ces dernières décennies, les pompes totalement étanches se sont imposées depuis longtemps dans l'industrie chimique, leur part augmente constamment depuis quelques années également en pétrochimie depuis l'apparition de l'API 685 /1/, /2/. Lorsqu'on fait le choix pour une pompe à rotor noyé, on a aussi ici la possibilité d'avoir un ou plusieurs étages. Dans ce cas on envisage l'emploi d'une pompe à étages multiples en raison du coût global sur le cycle de vie et des économies d'énergie possibles. Ceci est d'autant plus d'actualité que le prix des énergies primaires (pétrole brut, gaz naturel, etc.) a augmenté de façon cruciale ces derniers mois. En outre l'utilisation de ces pompes est présentée ici pour le pompage de gaz liquéfiés.



Utilisation de pompes multiétagées à rotor noyé –  
Chaque étage compte

Dr. G. Feldle

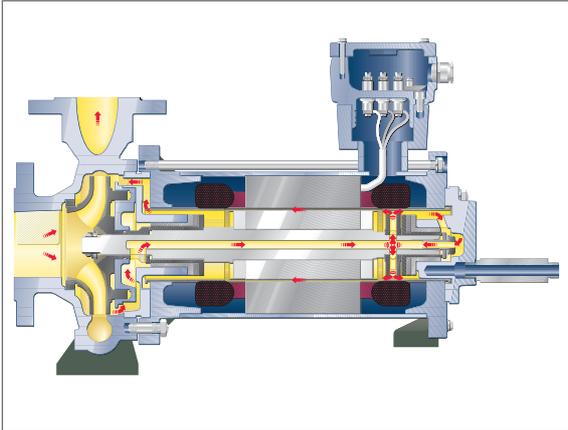


Figure 1: Pompe HERMETIC Type CNF monocellulaire

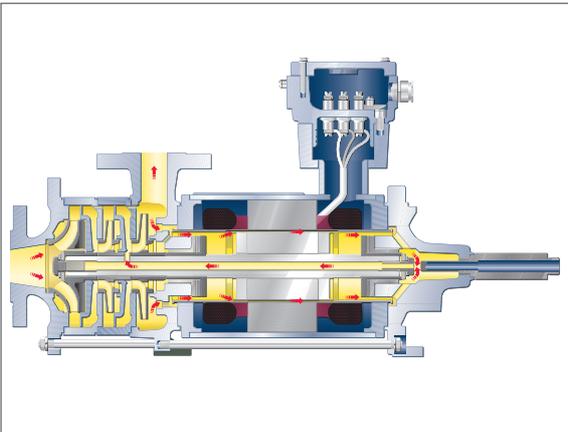


Figure 2: Pompe HERMETIC Type CAM à étages multiples

### PRINCIPE DE CONSTRUCTION

Les pompes à rotor noyé constituent un ensemble intégré et compact sans étanchéité sur l'arbre. Le moteur et la pompe forment une unité dans laquelle le rotor et la roue sont placés sur un même arbre. L'ensemble rotatif de ces pompes à un ou plusieurs étages est guidé par deux paliers lisses lubrifiés par le fluide. Le stator du moteur est séparé du rotor moteur par un espace très étroit. De son côté, le rotor moteur forme un ensemble commun avec la partie hydraulique de la pompe, qui doit être rempli avec le fluide avant la mise en service. Les pertes calorifiques du moteur sont évacuées par un flux dérivé entre le rotor et le stator. Simultanément, ce flux dérivé lubrifie les deux paliers du rotor. A côté de la partie étanche constituée par la chemise statorique, le boîtier moteur forme une seconde enveloppe de sécurité. [Fig. 1 et 2] De ce fait, les pompes à rotor noyé offrent en permanence le plus haut niveau de sécurité, notamment avec les fluides dangereux, toxiques, explosifs ou onéreux.

Utilisation de pompes multiétagées à rotor noyé –  
Chaque étage compte

Dr. G. Feldle

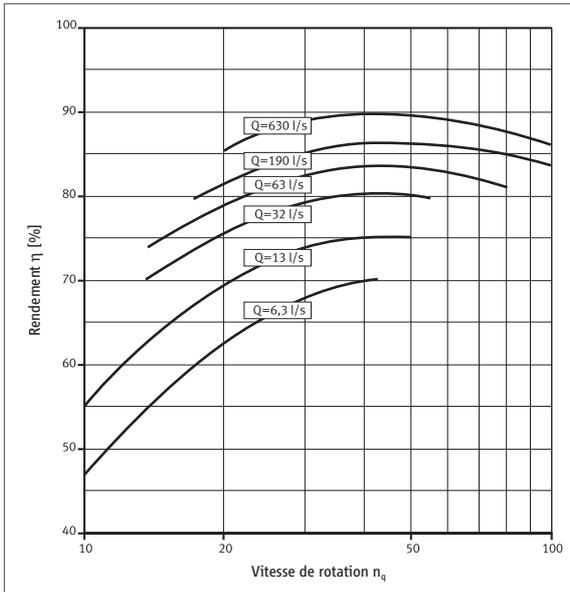


Figure 3: Rendements maxi de pompes centrifuges multiétagées

VITESSE DE ROTATION SPECIFIQUE –  
RENDEMENT

En règle générale, les pompes centrifuges multiétagées sont utilisées pour de petits débits avec des hauteurs de transfert importantes. Elles peuvent être conçues comme pompes à plusieurs étages ou pompes haute pression avec barrel. Ces dernières sont surtout utilisées avec de fortes pressions et/ou pour réduire le nombre de joints statiques à un seul. On utilisera de préférence des pompes multiétagées à rotor noyé lorsque la hauteur manométrique ne peut plus être atteinte à environ 2900 tr/min ou lorsque le rendement maximal revêt une importance de premier plan.

L'économie d'énergie qui lui est associée joue un rôle décisif dans le calcul du coût durant tout le cycle de vie, car elle constitue en règle générale, la plus grosse part des dépenses.

Le rendement des pompes centrifuges dépend essentiellement de la vitesse de rotation  $n_q$  et du débit  $Q$  /3/. La figure 3 représente d'après KARASSIK /4/ le rendement maxi pour plusieurs pompes centrifuges multiétagées en fonction de la vitesse de rotation avec le débit comme paramètre. Le rendement est maximum pour une vitesse  $n_q$  d'environ 40. Celui-ci augmente avec le débit. La vitesse  $n_q$  est une caractéristique importante de la géométrie de la roue. Elle se rapporte aux données du débit au point de meilleur rendement d'une roue et pour les pompes multiétagées sur les données de débit d'un seul étage.

$$n_q = n Q_{opt}^{1/2} / H_{opt}^{3/4} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (1)$$

avec :  $n$  en  $\text{min}^{-1}$   
 $Q_{opt}$  en  $\text{m}^3/\text{s}$   
 $H_{opt}$  en m



Utilisation de pompes multiétagées à rotor noyé –  
Chaque étage compte

Dr. G. Feldle

Outre  $n_q$  et  $Q$ , les courbes de rendement dépendent de la construction et de la forme du corps de pompe. Les raisons physiques en sont les frottements latéraux de la roue, les pertes de débit dans le rotor et les pertes par frottement internes dans la roue elle-même. Si l'on décompose la hauteur totale  $H_{ges}$  de pompage en plusieurs étages  $i$ , on peut augmenter la vitesse de rotation par rapport à celle des pompes à un seul étage et par voie de conséquence augmenter aussi le rendement :

$$n_q = n Q_{opt}^{1/2} / (H_{ges} / i)^{3/4} \quad (2)$$

$$n_q = n i^{3/4} Q_{opt}^{1/2} / H_{ges}^{3/4} \quad (3)$$

Utilisation de pompes multiétagées à rotor noyé –  
Chaque étage compte

Dr. G. Feldle

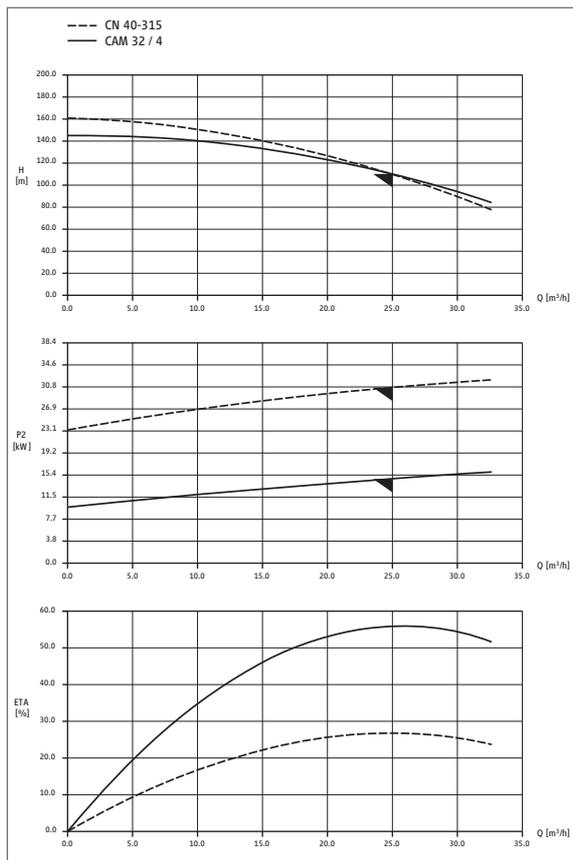


Figure 4 : Courbes caractéristiques pour une pompe normalisée en chimie et une pompe multiétagée à rotor noyé

**COUT GLOBAL DURANT LE CYCLE DE VIE –  
ECONOMIE D'ENERGIE**

Les effets de cette observation peuvent être illustré par l'exemple suivant.

Pour une pompe à rotor noyé hermétique, on cherche une solution optimale pour les données de débit suivantes :

- Fluide : Formalin (40 %)
- Débit : 25 m³/h
- Hauteur manométrique : 110 m
- Densité: 1100 kg/m³
- Température: 50 °C

Commençons par une pompe monocellulaire à rotor noyé avec une hydraulique chimie de taille 40 - 315, vitesse de rotation 2960 min<sup>-1</sup>. [Fig. 4] D'après la courbe caractéristique, le besoin total de puissance se monte à 30,7 kW avec un rendement de 26,8 %. La vitesse de rotation spécifique selon l'équation (1) est  $n_q = 7$ . Si on décompose la hauteur manométrique totale en plusieurs étages, on peut choisir une pompe multiétagée à rotor noyé à quatre étages CAM 32/4 et une vitesse de rotation de 2955 min<sup>-1</sup>. De cette façon, on peut augmenter la vitesse de rotation spécifique à  $n_q = 21$ . D'après la courbe caractéristique, le besoin total de puissance s'élève seulement à 14,8 kW car le rendement global de la pompe atteint 55,8 % ! La différence de puissance économisée est de 15,9 kW, ce qui diminue considérablement la consommation d'énergie. En raison de leur construction, l'investissement pour des pompes à rotor noyé multiétagées est supérieur à celui des pompes à un seul étage. Mais du fait de la taille plus faible du moteur de pompe une partie du surcoût est compensé, ce qui diminue l'écart de prix. Les coûts de production d'un moteur à rotor noyé s'élève en moyenne à environ 2/3 du prix de la pompe. Sur cet exemple, avec 8 000 heures de fonctionnement et un coût énergétique de 0,08 € par kWh, l'économie annuelle d'énergie s'élève à environ 10 176 €. Ainsi le surcoût de l'investissement est rapidement amorti.



Utilisation de pompes multiétagées à rotor noyé –  
Chaque étage compte

Dr. G. Feldle

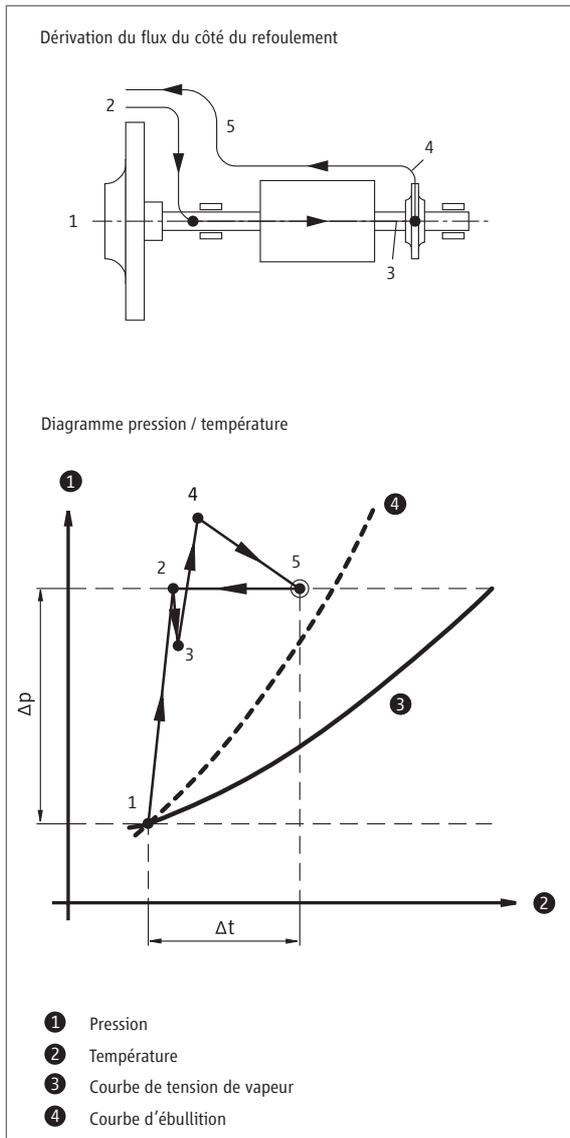


Figure 5 : Représentation schématique du circuit de flux dérivé et effet sur la pression et la température sur une pompe monocellulaire à rotor noyé

APPLICATION SUR GAZ LIQUEFIE

Les pompes à rotor noyé à étages multiples présentent des avantages hydrauliques et thermodynamiques supplémentaires, liés à leur construction.

La série CNF monocellulaire a été spécialement développée pour le pompage de gaz liquéfiés [Fig. 1]. Ce modèle de pompes permet le transfert de gaz liquéfiés avec une courbe de tension de vapeur extrêmement raide et ceci sans retour externe du flux dérivé dans le réservoir ou le séparateur. Le flux dérivé pour le refroidissement du moteur et la lubrification des paliers est prélevé à la périphérie de la roue et reconduit côté refoulement après passage entre le rotor et le stator. Une roue auxiliaire interne sert à compenser les pertes de pression hydraulique. Grâce au retour du flux dérivé du côté du refoulement la plus grande part du réchauffement correspondant au point 3 du diagramme pression/température [Fig. 5] s'est suffisamment éloigné du point d'ébullition. De ce fait sous les mêmes conditions, la série CNF permet aussi le transfert de gaz liquéfiés avec des courbes de tension de vapeur extrêmement raides, comme on peut le voir sur la courbe de la figure 5.

Utilisation de pompes multiétagées à rotor noyé –  
Chaque étage compte

Dr. G. Feldle

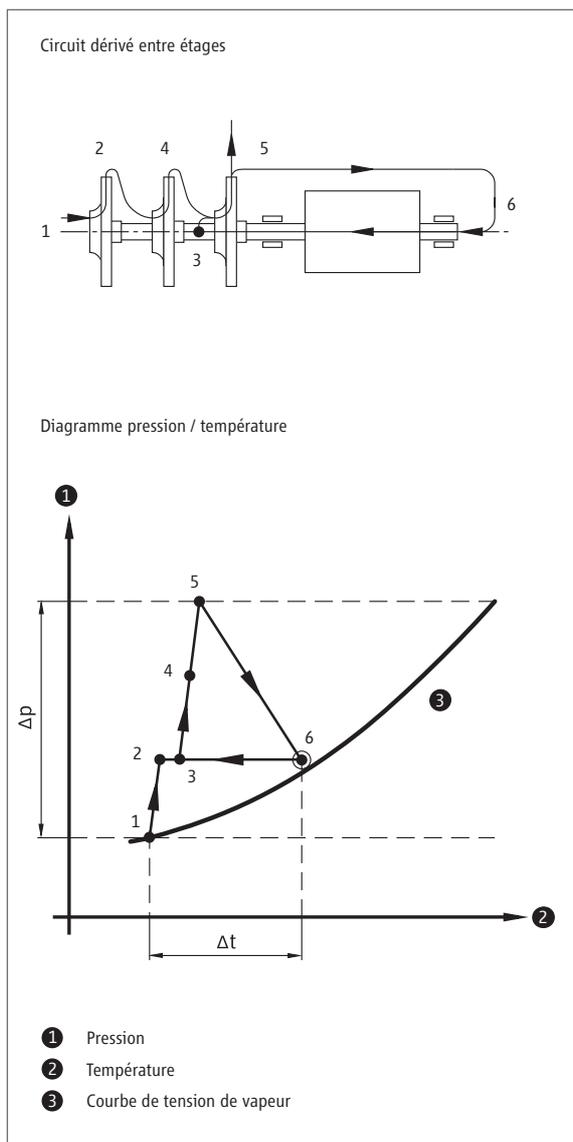


Figure 6 : Représentation schématique du circuit de flux dérivé et effet sur le comportement en pression et en température sur des pompes à rotor noyé à étages multiples

Sur la série multiétagée CAM [Fig. 2] ce problème est résolu. Le flux dérivé est ici prélevé à la périphérie de la dernière roue puis traverse la chambre moteur pour évacuer la chaleur. Il est évacué au travers de l'arbre creux entre la dernière et l'avant dernière roue après lubrification des paliers. Ainsi le flux dérivé revient toujours à un endroit où la pression est supérieure à celle de l'aspiration. Le point 3 de la courbe du diagramme pression/température où l'échauffement est le plus élevé [Fig. 6] se trouve toujours ainsi à une distance suffisante de la courbe de tension de vapeur, de façon à exclure une vaporisation à l'intérieur de la pompe.

BIBLIOGRAPHIE

- /1/ G. Feldle  
**Un tiré à part sur la protection de l'environnement**  
Pompes et compresseurs industriels, cahier 2, Mai 2006
- /2/ R. Krämer  
**Pompes à rotor noyé hermétiquement étanches en raffinerie**  
Conférence Les pompes en raffinerie, université de Graz, 2007
- /3/ R. Neumaier  
**Pompes hermétiques**  
Edition et archives photographiques W. H. Faragallah, 2000
- /4/ G. Feldle  
**Prise en compte du coût global dans le développement d'une nouvelle série de pompes à étages multiples**  
KSB Technische Berichte, cahier 20, 1984