

CHAPITRE 3

POMPES

I- GENERALITES

Une pompe est une turbomachine génératrice. Son rôle est de communiquer au liquide qui la parcourt une certaine énergie. Il y a une multitude de pompes chacune trouve un domaine d'application.

- Pompes à eau.
 - " huiles.
 - " boue de forage.
 - " cimentation
 - " gaz liquéfié.
- Etc.

Ces pompes sont rangées dans l'une de ces deux catégories suivant qu'elles communiquent l'énergie nécessaire au fluide volume par volume ou d'une manière continue.

1- Pompes volumétriques.

- *Pompes a piston.*

- *Pompes rotatives: Pompes a engrenages pompes a vis pompes a palettes etc.*

2- Turbopompes

Le principe de fonctionnement des turbopompes est simple. On imprime au fluide une certaine vitesse qu'on transforme par des mécanismes appropriés sous forme de pression. Les turbopompes ont l'avantage de turbiner d'une manière continue de gros débit. On distingue :

- Pompes centrifuges.
- Pompes a hélice ou axiales.
- Pompes a tourbillon.

II- TURBOPOMPES

II-1 -Classification.

Une pompe est déterminée si on se donne ces paramètres:

- Le débit Q transitant dans la conduite.

Cours destiné aux étudiants de M2CM

- Le nombre de tours par minute N auquel devrait tourner la roue.
- La hauteur H qui est la somme de la hauteur géométrique H_g et des pertes de charge dans les conduites d'aspiration et de refoulement. Elle est, aussi, l'énergie fournie par la roue au fluide. On peut prouver cela par l'application du théorème de Bernoulli.

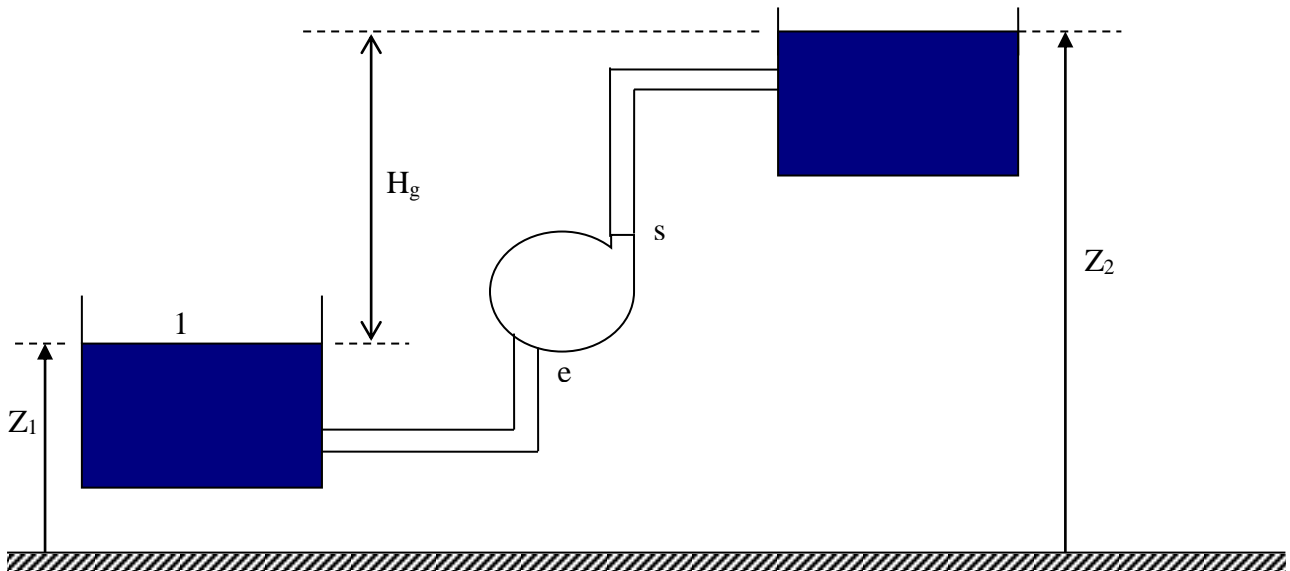


Fig.1. Installation

En effet:

$$H_{te} = H_{t1} - \Delta H_{1e}$$

$$H_{ts} = H_{t2} - \Delta H_{2s}$$

ΔH_{1e} et ΔH_{2s} sont les pertes de charge dans la conduite d'aspiration et dans la conduite de refoulement.

Entre les sections e et s le fluide reçoit de l'énergie de la pompe égale à H aussi peut on écrire:

$$H = H_{ts} - H_{te} = H_{t2} + \Delta H_{2s} - H_{t1} + \Delta H_{1e}$$

$$H_{t1} = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1$$

$$H_{t2} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

Généralement $P_2 = P_1 = 1 \text{ atm}$. La conservation du débit donne : $S_1 V_1 = S_2 V_2$

Si on impose $S_1 = S_2$ on a également $V_1 = V_2$. Dans notre cas $V_1 = V_2 = 0$

Ainsi:

$$H_{t2} - H_{t1} = z_2 - z_1 = H_g$$

Et on a bien:

Cours destiné aux étudiants de M2CM

$$H = H_g + \sum \Delta H \quad (1)$$

l'équation ci-dessus signifie, aussi, que pour exhausser un débit Q du niveau 1 jusqu'au niveau 2, le fluide doit recevoir de la pompe une énergie H capable de vaincre les pertes de charge dans le réseau et le potentiel du au poids propre du fluide.

On peut classer les pompes suivant le nombre de Brauer :

$$N_s = \frac{NQ^{1/2}}{H^{3/4}}. \quad (2)$$

$N_s = 10$ à 37 la pompe est à entrée radiale, sortie radiale.

$N_s = 37$ à 80 la pompe à est entrée mixte, sortie radiale.

$N_s = 80$ à 165 la pompe est à entrée mixte, sortie mixte.

$N_s = 100$ à 500 la pompe est à entrée axiale, sortie axiale.

II-2 POMPES CENTRIFUGES

Une pompe centrifuge élémentaire est constituée d'organes fixes:

- diffuseur ou stator.
- volute.

Et mobile:

- roue appelée aussi turbine rotor ou impulseur.

Cette pompe est dite monocellulaire. Elle est multicellulaire dans le cas où elle comporte plusieurs roues. La roue est l'organe moteur par excellence. C'est à ce niveau que le liquide reçoit l'énergie nécessaire. La roue est constituée d'un ensemble d'aubes ou ailes régulièrement espacées pour offrir des canaux d'écoulements divergents au fluide. Une aube est un élément profilé de la roue complètement baigné dans le fluide. Sa forme et ses dimensions sont à déterminer. Le diffuseur a pour rôle de transformer l'énergie cinétique du fluide en énergie de pression. Il peut être lisse ou comportant des aubages et dans les deux cas la section de sortie est plus grande que celle d'entrée. En présence d'aubages les canaux interaubes sont divergents. Parfois on combine les deux diffuseurs.

La volute sert à collecter le fluide de façon à ce qu'il soit envoyé vers la conduite de refoulement si la pompe est monocellulaire sinon un conduit est prévu pour acheminer le fluide vers la cellule suivante.



Fig.2. Coupe d'une pompe centrifuge

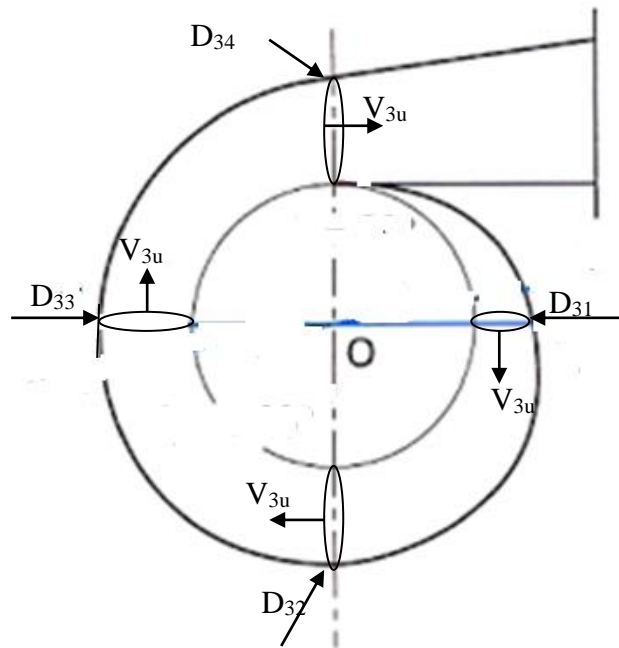


Fig.3. Volute de la pompe centrifuge

II-2-1 ROUE

II-2-1-1 Triangle des vitesses

Le triangle des vitesses n'est que la traduction géométrique de la relation:

$$\vec{V} = \vec{U} + \vec{W} \quad (3)$$

\vec{U} : Vitesse d'entraînement.

\vec{W} : " relative.

\vec{V} : " absolue.

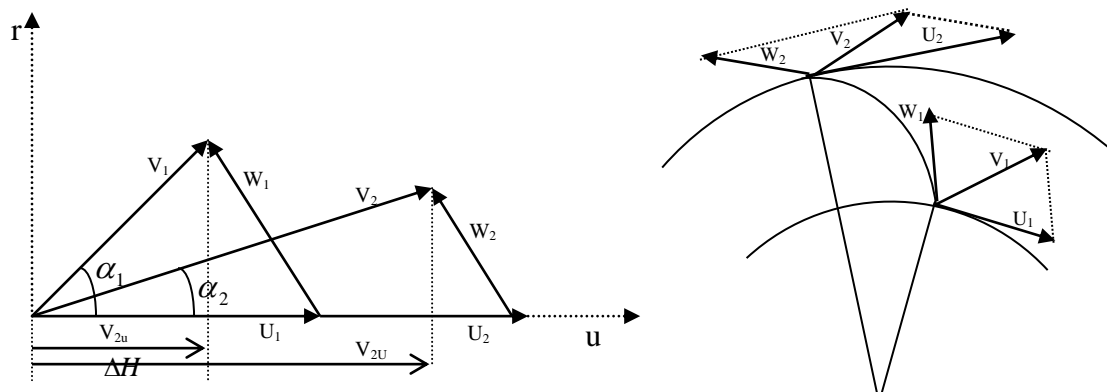


Fig.4. Triangles des vitesses

On peut tracer le triangle des vitesses en n'importe quel point de l'aube, mais on se limite souvent à deux cas: l'entrée et la sortie de la grille d'aube au rayon moyen. La géométrie des aubages est telle que l'échange énergétique entre le fluide et la roue est optimale. Sur la Fig.4, on a représenté le triangle des vitesses avec les indices 1 et 2 qui correspondent à l'entrée et la sortie de la roue:

II-2-1-2 Relation d'Euler

L'équation d'Euler exprime l'énergie échangée entre le fluide et la machine elle peut s'exprimer en mètre du fluide en joule ou en bar. Considérons une roue d'une pompe centrifuge ayant n canaux. Dans un canal de la pompe, à l'instant t le fluide se trouve en $ABCD$ et à $t + dt$ en $A'B'C'D'$. Le domaine $A'B'CD$ est commun, il ne subit pas de variation de quantité de mouvement. Tout se passe comme si l'élément $AA'BB'$ de vitesse absolue V_1 est déplacé pour se retrouver en $DCC'D'$ avec une vitesse V_2 . Ils ont, donc, la même masse dm .

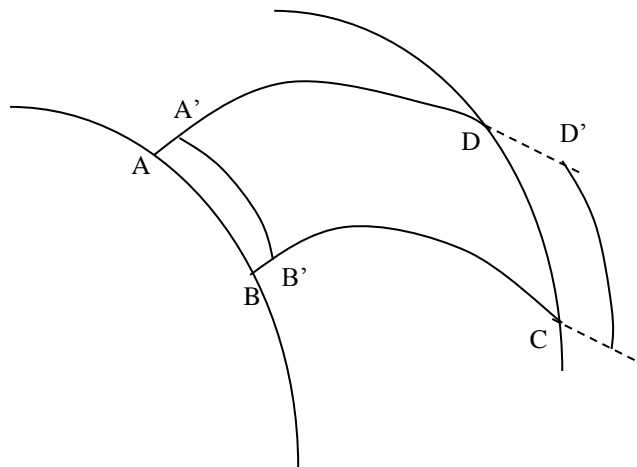


Fig. 5. Canal de la roue

D'après Euler, la variation du moment de la quantité de mouvement est égale au couple moteur, soit :

$$\frac{dm}{dt} (r_2 V_2 \cos \alpha_2 - r_1 V_1 \cos \alpha_1) = C_E$$

Seule la composante ortho radiale de la vitesse absolue génère la variation du moment de la quantité de mouvement. La somme des débits qui transitent dans tous les canaux donnent le débit qui traverse la pompe q_m .

Cours destiné aux étudiants de M2CM

$$q_m (r_2 V_2 \cos \alpha_2 - r_1 V_1 \cos \alpha_1) = C_E$$

q_m : Débit en masse traversant la roue;

V_1, V_2 : Vitesses absolues à l'entrée et à la sortie de la roue;

C_E : Moment du couple moteur transmis par l'arbre à la roue mobile.

En multipliant de part et d'autre par ω on trouve la puissance fournie par l'arbre de la machine.

$$P_E = C_E \omega = (r_2 \omega q_m V_2 \cos \alpha_2 - r_1 \omega q_m V_1 \cos \alpha_1)$$

Comme :

$$r_2 \omega = U_2 \quad \text{et} \quad r_1 \omega = U_1$$

Il s'en suit :

$$P_E = (U_2 q_m V_2 \cos \alpha_2 - U_1 q_m V_1 \cos \alpha_1) = q_m (U_2 V_{u2} - U_1 V_{u1})$$

$$V_{u1} = V_1 \cos \alpha_1 \quad \text{et} \quad V_{u2} = V_2 \cos \alpha_2$$

Sont les composantes périphériques de la vitesse absolue à l'entrée et à la sortie de l'aube rotorique.

L'expression de P_E s'exprime en Watt. On peut aussi l'exprimer en Joule/Kg en divisant par le débit.

$$Y_E = \frac{P_E}{q_m} = (U_2 V_2 \cos \alpha_2 - U_1 V_1 \cos \alpha_1) = (U_2 V_{u2} - U_1 V_{u1})$$

Soit :

$$Y_E = \Delta(UV_u)$$

On peut également l'exprimer en unité de longueur en la réduisant par $g q_m$; dimension de prédilection des hydrauliciens.

$$H_E = \frac{P_E}{g q_m} = \frac{(U_2 V_2 \cos \alpha_2 - U_1 V_1 \cos \alpha_1)}{g} = \frac{(U_2 V_{u2} - U_1 V_{u1})}{g} \quad (4)$$

Par ailleurs, on peut exprimer H_E autrement en se servant de ce qu'on appelle le triangle des vitesses. D'après la Fig.4, en appliquant le théorème de Pythagore, on a:

$$W_1^2 = V_1^2 + U_1^2 - 2U_1 V_1 \cos \alpha_1$$

$$W_2^2 = V_2^2 + U_2^2 - 2U_2 V_2 \cos \alpha_2$$

Cours destiné aux étudiants de M2CM

De ces équations, on tire :

$$U_1 V_1 \cos \alpha_1 = V_1^2 / 2 + U_1^2 / 2 - W_1^2 / 2$$

$$U_2 V_2 \cos \alpha_2 = V_2^2 / 2 + U_2^2 / 2 - W_2^2 / 2$$

Qu'on introduit dans l'expression d'Euler, on trouve.

$$H_E = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g} \quad (5)$$

II-2-2 DIFFUSEUR

Lorsque le fluide quitte la roue avec une vitesse V_2 importante, il est nécessaire de prévoir des organes transformateurs d'énergie (diffuseurs) avant de l'évacuer vers la conduite de refoulement via la volute. Dans le cas contraire, le fluide subirait une perte d'énergie d'autant plus substantielle que V_2 est importante.

$$\Delta H = \xi \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

ξ est le coefficient de perte de charge dû au changement de direction imposé au fluide. Le rôle du diffuseur est donc de ralentir le fluide.

L'écoulement du fluide à l'intérieur de la roue est subsonique. Aussi d'après la relation d'Hugoniot, dans ce cas pour diminuer la vitesse de l'écoulement, il suffit, tout simplement, de prolonger l'écoulement au delà de la section de sortie de la roue par un canal dit divergent. On serait tenté de d'affirmer que la solution est vite trouvée puisqu'il convient juste, comme il vient d'être signalé, de créer au delà de la section 2 un canal divergent. Seulement, voilà, la réalité est toute autre. Un canal trop divergent crée des problèmes de décollement et un canal long évite certes le décollement mais conduirait à une pompe encombrante. Voilà, pourquoi ce type de diffuseur, dit lisse, n'est utilisé que pour les vitesses de sortie relativement modérées ou en concubinage avec un autre type de diffuseur appelé, diffuseur à aubages. Ce dernier comporte une série d'aubages uniformément espacés formant, ainsi, des canaux divergents.

Le diffuseur à aubages est bien sûr mieux adapté pour les grandes vitesses V_2 . Il permet non seulement de freiner le fluide mais également de le dévier de façon à mieux le préparer à pénétrer dans la volute. Le profil des aubes est dessiné de façon à ce que la vitesse V soit tangente au profil des aubes.

Les composantes radiales et orthoradiales de V sont:

$$V_r = \frac{Q}{2\pi r b} \quad (7)$$

$$V_u = \frac{U_2 V_{2u}}{U} \quad (8)$$

La première relation est déduite à partir de la conservation du débit. Ici on néglige l'épaisseur des aubes b est la largeur du canal. Quant à la seconde exprime la conservation de l'énergie acquise par le fluide dans la roue.

II-2-3 VOLUTE

La volute est l'organe collecteur du fluide. Sa forme est conçue de façon à recueillir le fluide et l'envoyer vers la conduite de refoulement avec un minimum de perte de charge. En l'absence de toutes pertes, les particules du fluide décrivent ce qu'on appelle les spirales logarithmiques. Il y a différentes méthodes pour tracer la volute. Dans le cas où on considère que la vitesse débitante est constante et égale à V_{3u} , on a:

Au point 31 il y a 1/4 du débit qui est collecté.

$$\rho V_{3u} \pi \frac{D_{31}^2}{4} = \frac{Q}{4} \quad \text{d'où } D_{31}$$

Au point 32 il y a 2/4 du débit qui est collecté.

$$\rho V_{3u} \pi \frac{D_{32}^2}{4} = \frac{2Q}{4} \quad \text{d'où } D_{32}$$

Au point 33 il y a 3/4 du débit qui est collecté.

$$\rho V_{3u} \pi \frac{D_{33}^2}{4} = \frac{3Q}{4} \quad \text{d'où } D_{33}$$

Au point 34 il y a 4/4 du débit qui est collecté.

$$\rho V_{3u} \pi \frac{D_{34}^2}{4} = Q \quad \text{d'où } D_{34}$$

II-3 POMPES AXIALES

Ce sont des pompes dans lesquelles le fluide entre et sort parallèlement à l'axe de la machine, la figure en donne un schéma simplifié. Le liquide aborde la grille spéciale fixe qui l'oriente adéquatement vers l'entrée de la grille rotorique avec un minimum de pertes par choc. La grille du rotor transfère au liquide l'énergie cinétique et de pression en déviant la direction du fluide (composante périphérique V_{2u} plus importante que V_{1u}), à sa sortie le fluide aura, donc, une vitesse absolue et une pression plus grandes. Le stator a une double mission : convertir une partie de l'énergie cinétique acquise dans la roue en pression et redresser le fluide en lui imprimant une orientation quasi axiale.

Au regard de la définition du nombre de Brauer (2), les pompes axiales conviennent aux installations dont la hauteur H est faible, nécessitant de gros débits. H représente la somme des pertes de charge avec la hauteur géométrique (Voir Fig1). Ainsi, convient-elle dans l'industrie et l'irrigation.

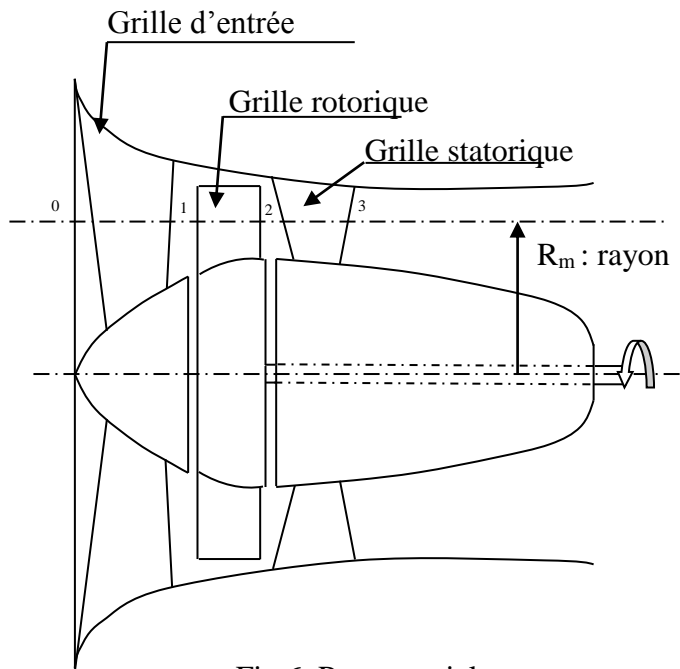


Fig.6. Pompe axiale

Sur la fig.7, on a tracé les triangles des vitesses à même la coupe de l'étage de la pompe au niveau du rayon moyen.

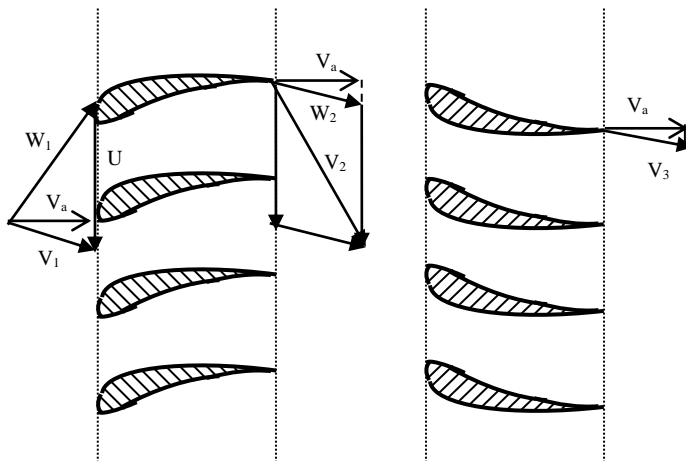


Fig.7. Triangle des vitesses

Comme dans le cas d'un compresseur centrifuge, les particules du fluide possèdent deux vitesses. L'une relative, tangente à l'aube et l'autre d'entraînement perpendiculaire au rayon moyen de la roue, leur somme donne la vitesse absolue. A la traversée de la roue le fluide conserve la valeur de la vitesse d'entraînement, alors que celle de l'absolue croît. Le gain de pression résulte de la diminution de la vitesse relative. En effet, le canal inter aube est généralement divergent, ce qui induit la diminution de W en faveur de la pression.

L'énergie transmise par la roue au fluide est donnée par l'expression (4) dans laquelle :

Cours destiné aux étudiants de M2CM

$$U_1 = U_2 = U$$

Soit :

$$H_E = \frac{U(V_{2u} - V_{1u})}{g}$$

Cette expression montre on ne peut plus claire que l'énergie échangée dans le cadre de la pompe axiale est inférieure à celui de l'étage de la pompe centrifuge, à cause du fait que la force centrifuge dans ce cas ne participe pas à cet échange énergétique.

II-4 RENDEMENT

Il y a trois hauteurs H:

- Hauteur d'Euler H_E définie ci - haut. Cette hauteur sert uniquement de référence car facilement calculable connaissant simplement les angles avec lesquels le fluide aborde et quitte les aubes Ceci. Pour une machine donnée elle désigne une valeur idéale qu'elle ne pourra jamais atteindre même si toutes les pertes sont réduites à néant car il est inconcevable d'imaginer une machine répondant aux hypothèses avancées auparavant.
- Hauteur théorique H_{th} . C'est l'énergie échangée entre le fluide et la machine lorsque cette dernière comporte un nombre fini d'aubes et que l'écoulement se fait sans pertes.
- Hauteur réelle H. Elle correspond à l'échange d'énergie dans le cas d'une machine réelle. Il n'y a pas de formules précises pour son calcul, on la déduit de H_E par le truchement du rendement.

On définit le rendement de la pompe étant le rapport de la puissance utile à la puissance absorbée:

$$\eta = \frac{Y}{Y_{th}} = \frac{H}{H_{th}} \cong \frac{Y}{Y_E} = \frac{H}{H_E} = \frac{qY}{C_E \omega}$$

H_{th} étant difficilement calculable, aussi, lui préfère t-on H_E .

Attention! Le rendement ici concerne la roue seulement, si on veut le rendement global de la machine il faut faire l'analyse de toutes les pertes de charge dans ses divers organes: distributeur redresseur diffuseur etc.