Chapitre 6

Turbines

Buts

1. Comprendre le fonctionnement d'une turbine á vapeur
2. Comprendre le cycle Brayton
3. Savoir quelles types de turbine á vapeur existent
4. Savoir qu'est ce que degrée de réaction
5. Connaître les paramétres de dessin d'une turbine á vapeur

6.1 Turbines á gaz

Dans ce paragraphe nous allons étudier le cycle de la turbine á gaz , le cycle Brayton.

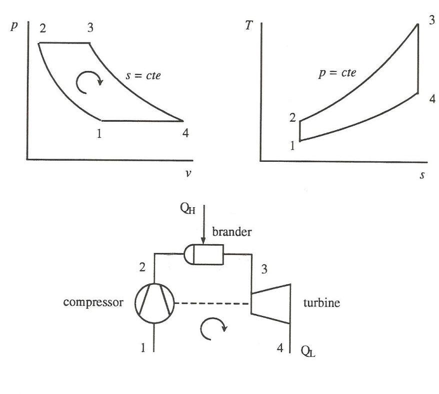

FIGURE 6.1 – Cycle Brayton

Ce cycle fonctionne en quatre étapes

1. L'air d'entré est comprimé par un compresseur
2. Combustion de combustible injecté dans le chambre de combustion
3. L'air réchauffé et comprimé remet son énergie dans la turbine
4. Remise de chaleur restante dans l'environnement

La compression et l'expansion sont supposées être isentrope.

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_H}{P_L}^{\frac{n-1}{n}}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \frac{P_H}{P_L}^{\frac{n-1}{n}}$$

Balance d'énergie

$$E_{in} : h_3 - h_2 = c_p(T_3 - T_2)$$

$$E_{out} : h_1 - h_4 = c_p(T_1 - T_4)$$

Pour le rendement donc

$$\eta = 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{n-1}{n}}}$$

avec

$$\pi = \frac{p_H}{p_L}$$

6.2 Turbines á vapeur

Ce paragraphe sera une vue générale avec une explication bref de la fonctionnement car l'explication approfondie sera faite dans le cours de vapeur.

6.2.1 Parametres de dessin

Pour les turbines á vapeur il y a trois paramétres de dessin, c'est á dire le coefficient de débit Φ, le coefficient de travail Ψ et le degrée de réaction r.

Comme expliqué dans le dernier chapitre une machine axiale se compose d'aubes rotor et d'aubes stator.

Sur l'aube rotor l'énergie est remis.

Sur le stator il y a transformation d'énergie.

coefficient	stator	rotor
Φ	$\frac{w_a}{u}$	$\frac{c_a}{u}$
Ψ	$\frac{\Delta w_u}{u}$	$\frac{\Delta c_u}{u}$
H	$h + \frac{c^2}{2}$	$h + \frac{w^2}{2}$

H est l'enthalpie totale.

Le degrée de réaction d'une turbine est le rapport entre la chute de pression au-delá un rotor et la chute au-delá l'ensemble d'un rotor et un stator .

$$r = \frac{\Delta p_R}{\Delta p_t}$$

6.2.2 Fonctionnement

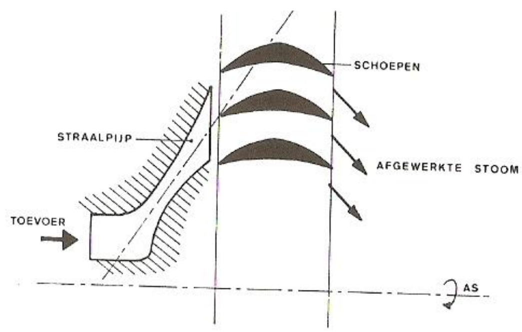

FIGURE 6.2 – fonctionnement d'une turbine á vapeur

Dans l'ajutage le vapeur changera de pression et température et l'enthalpie sera changé en énergie cinétique.Donc la vitesse de la vapeur augmentera et entrera á grande vitesse dans les aubes et fournira travail aux aubes.

La vapeur a une vitesse relative w vis á vis des aubes. La roue tourne avec une vitesse de rotation u et la vitesse totale est la somme vectorielle des deux précédentes.

Il y a deux classes de turbines d'un point de vue de fonctionnement c'est á dire la turbine á action et la turbine á réaction.

turbine á action

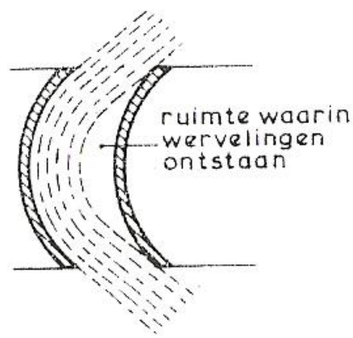

FIGURE 6.3 – forme d'une aube d'une turbine á action

Dans ce cas ci l'énergie vient du changement de direction de la vitesse du vapeur. La vapeur ne doit pas entrer en collision mais seulement changer de direction. Dans ce cas ci les collisions ne sont que des pertes. Quand nous donnons une forme circulaire aux aubes le vapeur devra suivre ce cercle pourqu'il n'y aient pas de collisions. Le changement de direction doit être le même pour tous les particules.Du coté arrière les particles peuvent suivre le chemin tout droit mais du coté front les particles doivent changer de direction directement. Pour suivre le même chemin ces particles doivent lâcher le coté front. Dans le cavité qui est donc formé se forment des tourbillons et il faut éviter ces tourbillons parce que ce ne sont que des pertes. Pour cette raison les aubes sont plus grosse au milieu.

Comment peut on fournir une force par conséquence d'un changement de direction. nous voyons la figure 6.4.

Particule A sort comme première de l'ajutage et touche la paroi. A doit changer de direction parce qu'elle doit suivre la paroi.Pour changer de direction une force est nécessaire et elle est fourni par l'aube. Cette force est une force centripède avec rayon R_1. (Action est Reaction donc...) Nous supprimons les effet de friction.Quand la particule B ne touche pas la paroi mais la particule A elle doit suivre cette particule A et A transmet cette force donc á B.Ceci ne peut être fait que quand la pression sur A est assez forte. Ceci resulte de nouveau

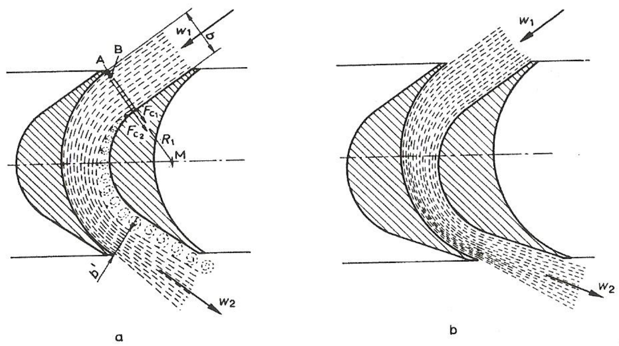

FIGURE 6.4 – principe turbine d'action

dans une force centripède mais avec un rayon plus petit R_2. Donc la force sur le paroi de l'aube est la somme des précédentes. On prend donc tout le faisceau de vapeur pour arriver á la force resultante.

turbine á réaction

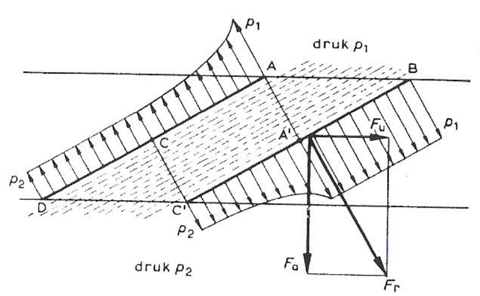

FIGURE 6.5 – fonctionnement d'une turbine á réaction

Dans le cas d'une turbine á réaction l'énergie vient d'un changement de vitesse et d'un changement de direction de vitesse.Si nous supposons qu'il n'y a pas de pertes et le courant donc idéal, nous pouvons prendre la pression de la vapeur perpendiculaire à la direction du courant comme constante. Donc en AA' la pression est p_1 et en CC' elle est p_2.La pression de vapeur changera de A á C et de B á A'. Parce qu'il y a une différence de pression il y aura par unité de surface une force resultante. Cette force va laisser tourner la roue.

6.3 Calcule du rendement

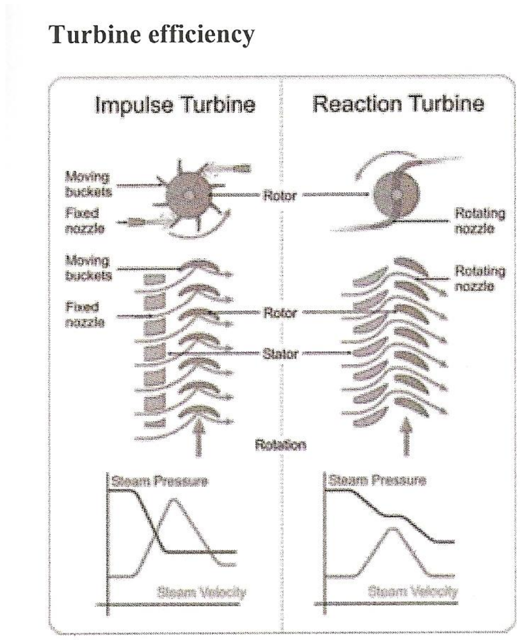

FIGURE 6.6 – comparaison turbine á action et á réaction

6.3.1 Turbine á action

Les vecteurs sur ce figure sont(1 :entrée,2 :sortie)
- v :vitesse absolue
- v_f :vitesse de la fluide
- v_r :vitesse relative
- v_w=vitesse tangente
- u :vitesse de remorquage

On définie des rendements differents

1. rendement de l'aube :$\eta_b = \frac{2uv_w}{v_1^2}$
   C'est le rapport entre le travail fourni par la vapeur á l'aube et l'énergie cinétique de la vapeur
2. rendement d'une étage (donc roteur et stateur) : $\eta_s = \frac{u\Delta v_w}{\Delta h}$
   Ceci est le rapport entre le travail fourni au roteur et l'énergie fourni á l'étage.
3. rendement de l'ajutage : $\eta_n = \frac{v_2^2}{2(h_1-h_2)}$ h_1 est l'énergie á l'entrée de l'ajutage et h_2 est l'énergie á la sortie de l'ajutage

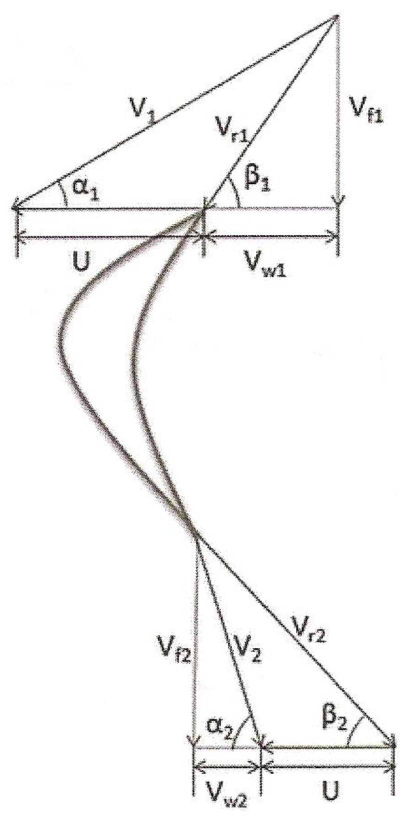

FIGURE 6.7 – triangles de vitesse d'une turbine á impulsion

Par la loi de conservation d'impulsion (torque cinétique) on obtient la torque sur l'aube est

$$T = \dot{m}(r_2 v_{w2} - r_1 v_{w1})$$

Dans le cas de turbines d'impulsion on suppose que $r_1 = r_2 = r$ donc nous obtenons

$$T = \dot{m}r(v_{w2} - v_{w1})$$

La puissance fourni est par définition $W = \omega.T$ donc

$$W = \omega \dot{m} r \Delta v_w$$

et

$$u = \omega r$$

De toute façon on doit utiliser pour ce travail les forces tangentielles.
Le rapport entre énergie cinétique fourni par le vapeur et travail fourni á l'arbre est aussi déterminé par le rendement de l'aube donc

$$\eta_b = \frac{2u\dot{m}\Delta v_w}{\dot{m}v_1^2}$$

Maintenant il ne faut que changer les rendements en paramètres géometriques

$$\Delta v_w = v_{w1} - (-v_{w2}) = v_{w1} + v_{w2}$$

Somme vectorielle des composants tangentiels donc v_{w2} change de signe

$$\Delta v_w = v_{r1}\cos\beta_1 + v_{r2}\cos\beta_2$$

$$\Delta v_w = v_{r1}\cos\beta_1 (1 + \frac{v_{r2}\cos\beta_2}{v_{r1}\cos\beta_1})$$

Nous définissons

$$\frac{\cos\beta_2}{\cos\beta_1} = c$$

$$\frac{v_{r2}}{v_{r1}} = k$$

Ce facteur k donne un valeur pour les pertes de friction au delá les aubes.
On arrive donc pour le rendement á

$$\eta_b = \frac{2u(1+kc)(\cos\alpha_1 - \frac{u}{v_1})}{v_1}$$

Ceci suit de

$$v_{r1}\cos\beta_1 = v_1\cos\alpha_1 - u$$

Suppose $\rho = \frac{u}{v_1}$. Le rendement maximale est atteint pour

$$\frac{d\eta_b}{d\rho} = 0$$

donc on trouve que

$$\rho = \frac{\cos \alpha_1}{2}$$

Ainsi on obtient le rendement maximale

$$\eta_{bmax} = \frac{\cos^2 \alpha_1 (1 + kc)}{2}$$

Quand $\beta_1 = \beta_2$ et sans friction le rendement maximale devient $\cos^2 \alpha_1$ (parce que k=c=1)

Nous allons étudier rapidement le rendement du stateur.
Le chaleur donc est transformé en vitesse (énergie cinétique) du vapeur

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2} = h_2 + \frac{v_2^2}{2}$$

Suppose que $v_1 << v_2$ ainsi suit que

$$\Delta h = \frac{v_2^2}{2}$$

Le rendement est définié dans ce cas comme le rapport entre travail fourni par l'arbre et enthalpie fourni au vapeur.

$$\eta_s = \frac{u \Delta v_w}{\Delta h}$$

6.3.2 Turbine á réaction

La vitesse relative á la sortie augmente par l'expansion du vapeur entre les aubes du roteur donc
– le changement d'enthalpie au delà le roteur

$$\Delta h_m = \frac{v_{r2}^2 - v_{r1}^2}{2}$$

– le changement d'enthalpie au delà le stateur

$$\Delta h_f = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2}$$

On suppose que v_0 est tres petit et même négligable donc,

$$\Delta h_f = \frac{v_1^2}{2}$$

L'énergie alimenté est $E = \Delta h_m + \Delta h_f$

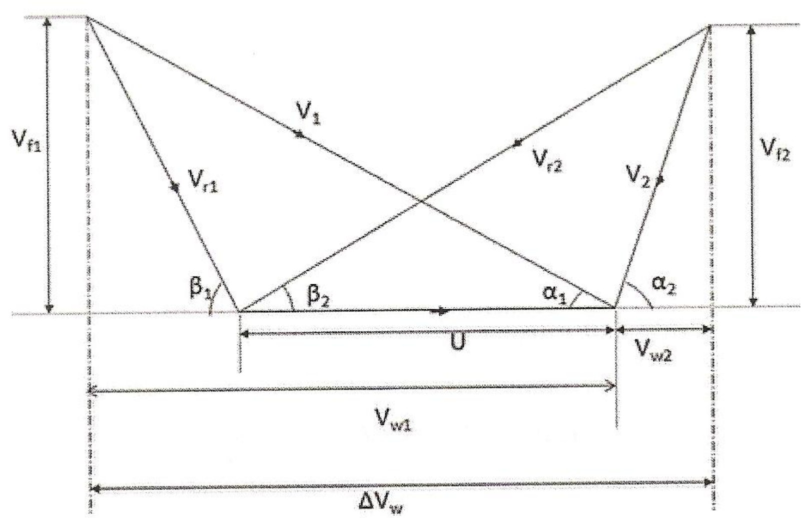

FIGURE 6.8 – triangles de vitesse d'une turbine á réaction

Dans le cas d'une turbine Parson's les aubes du stateur et roteur sont construites symmétrique donc $\alpha_1 = \beta_2$ en $\beta_1 = \alpha_2$. Et de ceci suit $v_1 = v_{r2}$ et $v_{r1} = v_2$.

$$E = \Delta h_f + \Delta h_m = \frac{v_1^2}{2} + \frac{v_{r2}^2 - v_{r1}^2}{2}$$

$$E = v_1^2 - \frac{v_{r1}^2}{2}$$

Le triangle de vitesse á l'entrée donne

$$v_{r1}^2 = v_1^2 + u^2 - 2uv_1 \cos\alpha_1$$

donc

$$E = \frac{v_1^2 - u^2 + 2uv_1 \cos\alpha_1}{2}$$

Le travail de l'arbre fourni par le roteur

$$W = u\Delta v_w = u(2v_1 \cos\alpha_1 - u)$$

Le rendement devient

$$\eta_r = \frac{2u(2v_1 \cos\alpha_1 - u)}{v_1^2 - u^2 + 2v_1 u \cos\alpha_1}$$

La figure en dessous vous donne la comparaison des rendements du roteur des deux types de turbine.

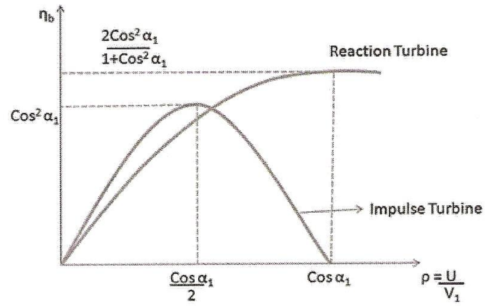

FIGURE 6.9 – rendement du roteur

6.3.3 Types de turbine

Il existent différentes turbines axialles, qui diffèrent en construction. Chaque type a son but.

(a) Turbine De Laval : 1 étage donc 1 ajutage et 1 roteur.
Le plus grand désavantage est que les vitesses de rotation sont trés haute et donc il y a de grandes tensions de traction dans les aubes.

(b) turbine Curtis : est une turbine De Laval mais en plusieurs étages.
La vitesse de rotation est sous contrôle mais les pertes de friction et turbulence sont plus hautes.

(c) turbine Rateau :turbine d'action
les pertes de friction et turbulence sont plus basses que dans le cas d'une turbine Curtis. Ce type est utilisé pour les grandes puissances.

(d) turbine Parsons : turbine á réaction
La manière de courant dans les rotors et stators sont les même. Le changement de chaleur est donc le même dans les roteurs et stators.

Le rapport entre les turbines est représenté dans le liste si dessous.

type turbine	De Laval	Rateau	Curtis	Parsons
nombre d'étages	1	m_r	m_c	m_p
vitesse de rotation vis à vis la turbine Laval	1	$\frac{1}{\sqrt{m_r}}$	$\frac{1}{m_c}$	$\frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2}m_p}}$

En dessous les schema's de la construction et les triangles de vitesses pour chaque type de turbine.

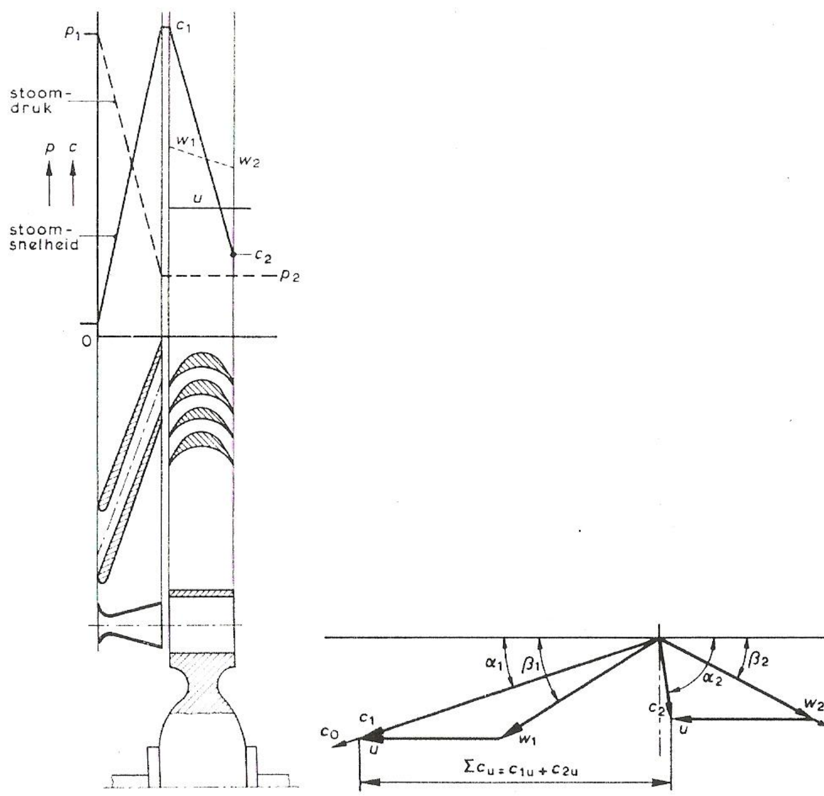

FIGURE 6.10 – De Laval turbine

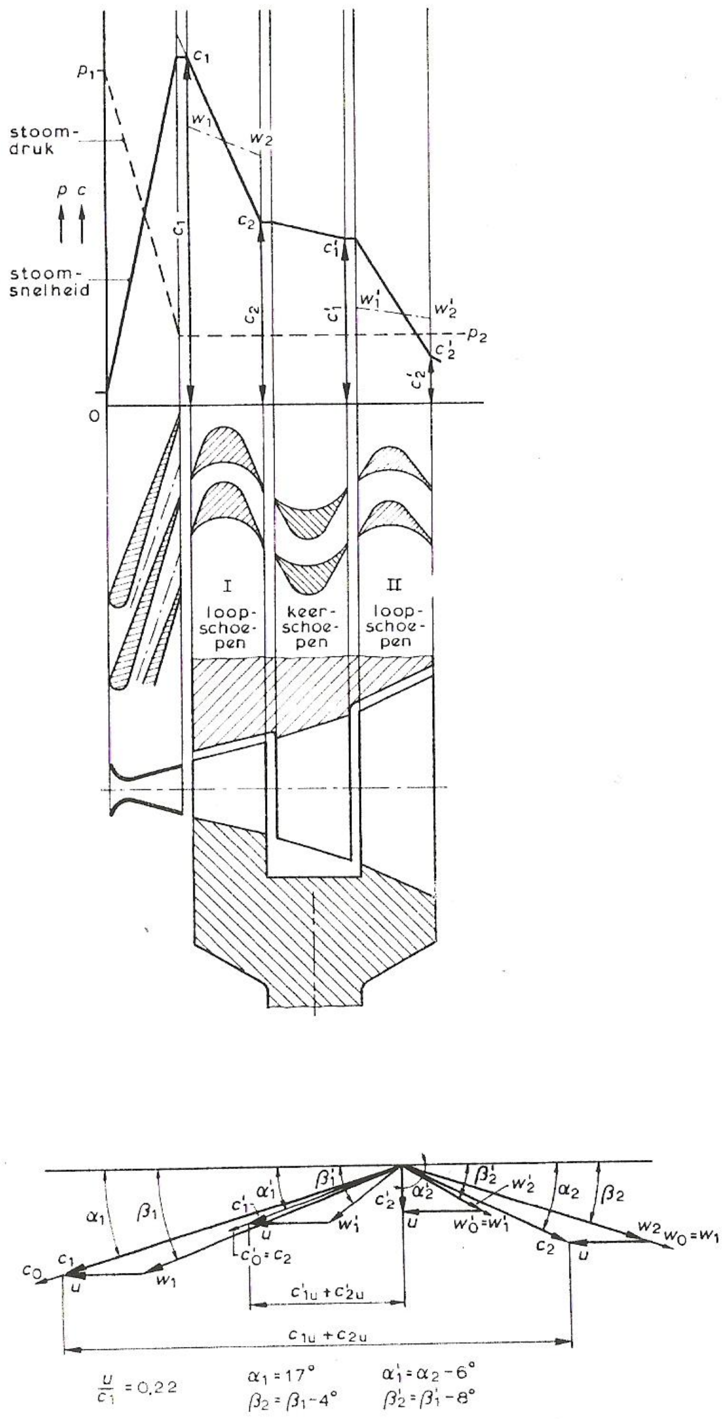

FIGURE 6.11 – Turbine Curtis

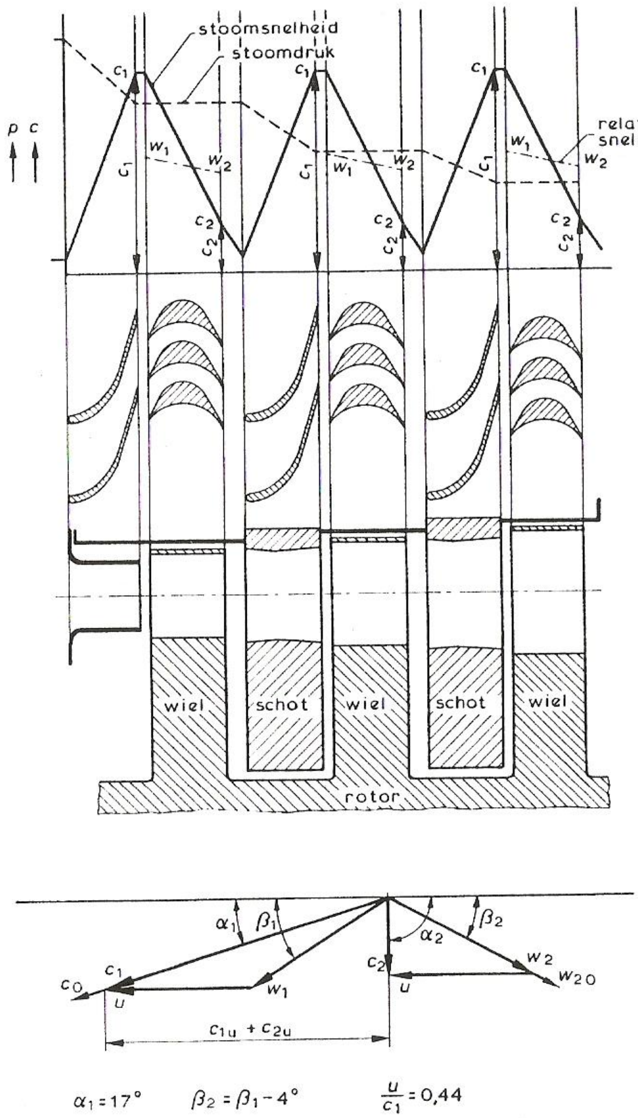

FIGURE 6.12 – turbine Rateau

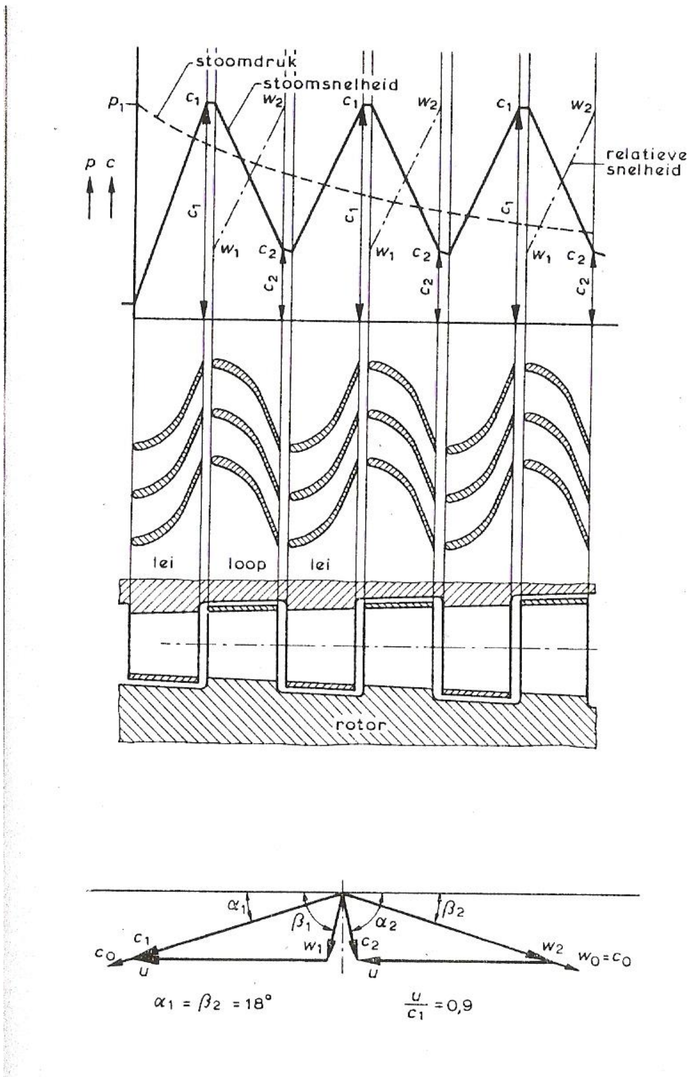

FIGURE 6.13 – Turbine Parsons