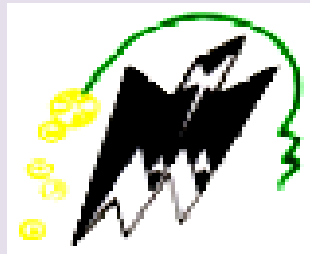


République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université Mouloud Mammeri de TiziOuzou  
Faculté de génie de la construction  
Département de génie mécanique



*En vue de l'obtention du diplôme de Master professionnel  
en Génie Mécanique  
Option : Energies renouvelables*

## **Thème**

***Elaboration d'un programme Fortran  
Permettant L'évaluation des Performances d'une  
Turbine Radiale***

Présenté par :

KHERBACHE ZAHIA  
MOKDAD KHALED

Proposé et dirigé par : M. Ferrouk

2017/2018

## *Remerciements*

*Louange tout d'abord à Dieu qui nous a donné la force*

*Pour terminer ce modeste travail.*

*Toutes nos infinies gratitudees à notre promoteur, Monsieur  
M-FERROUK pour son encadrement et ses aides précieuses.*

*Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait  
l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.*

*Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribués de prés  
ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, trouvent ici  
l'expression de notre profondes gratitudees et respects.*

*Zahia . Khaled*

## *Dédicaces*

*Mes plus chaleureuses dédicaces après ce travail*

*A la mémoire de mon père que Dieu le garde dans ces vaste paradis et à la prunelle de mes yeux ma chère mère qui vient juste d'avoir les fruits de sa bonne éducation et qui me donne toujours le courage sans oublié ma très chère grand-mère*

*A mon chère fiancé qui nous a beaucoup aidée tout au long de notre travail et qui a été toujours présent à mes cotés*

*A mon frère bien aimé*

*A mes splendides sœurs*

*A mes adorables copines Houa Aïche Nadia Yamina sans oubliée mes copines de la résidence universitaire*

*A mes amis Idir, Rafik, Saïd, Amine, yacine*

*A ceux et celle qui m'ont aidée de près ou de loin dans la réalisation de ce travail*

*A mon binôme KHALED*

*A Monsieur Ferhoum Rabah*

*A toute ma famille, mes chères et mes conseillers.*

*Zahia*

## *Dédicaces*

*Mes plus chaleureuses dédicaces après ce travail*

*A mes parents qui viennent juste d'avoir les fruits de leur bonne éducation surtout ma mère qui me donne toujours le courage*

*A mon frère*

*A ma sœur*

*A Djadel M'hamed qui nous a beaucoup aidé durant notre travail*

*A ceux et celle qui m'ont aidée de près ou de loin dans la réalisation de ce travail*

*A ma binôme Zahia*

*A toute ma famille, mes chères, mes conseillers.*

*Khaled*

# Nomenclature

## Liste des symboles

$A$	Surface, $m^2$
$B$	Facteur de blocage
$D$	Diamètre, $m$
$\Delta h'$	Travail spécifique de la turbine, $\frac{j}{kg}$
$\Delta h'_{id,s}$	Travail idéal de la turbine basé sur les données statiques, $\frac{j}{kg}$
$\Delta h'_{id,t}$	Travail idéal de la turbine basé sur les données total, $\frac{j}{kg}$
$i$	L'angle d'incidence, degré
$K$	Coefficient de perte du rotor, sans dimension
$K_s$	Coefficient de perte du stator, sans dimension
$L$	Perte de l'énergie cinétique, $\frac{j}{kg}$
$N$	Vitesse de rotation de la turbine, $\frac{rad}{s}$
$N_s$	Vitesse spécifique, sans dimension
$n$	Exposant de perte d'incidence
$P$	Puissance, $KW$
$p$	Pression, $\frac{N}{m^2}$
$R$	Constante des gaz parfaits, $\frac{j}{kg.K}$
$T$	Température absolue, $^{\circ}C$
$U$	Vitesse angulaire, $\frac{m}{s}$

## Nomenclature

$V$	Vitesse absolue, $\frac{m}{s}$
$W$	Vitesse relative, $\frac{m}{s}$
$WF$	Facteur de travail
$w$	Débit massique, $\frac{kg}{s}$
$ZZ$	Nombre de pales à l'entrée du rotor
$\alpha$	L'angle absolu du gaz (l'angle entre la vitesse absolue et la ligne de moyenne), degré
$\beta$	L'angle relatif du gaz (l'angle entre la vitesse relative à la roue et la ligne moyenne), degré
$\Gamma$	Couple, $\frac{N}{m}$
$\gamma$	Chaleur spécifique à pression et volume constants
$\delta$	Rapport entre la pression totale à l'entrée de la turbine et la pression atmosphérique
$\varepsilon$	Elle est en fonction $\gamma$ relie les paramètres utilisés aux conditions normal à ceux utilisés au niveau de la mer
$\eta_s$	Efficacité basé sur le rapport entre la pression totale d'entrée et la pression statique de sortie
$\eta_t$	Efficacité basé sur le rapport entre la pression totale d'entrée et la pression statique de sortie
$\theta_{cr}$	Rapport carré de la vitesse critique à l'entrée de la turbine à la vitesse critique à la température standard des Etats-Unis
$\nu$	Rapport de vitesse des pales,
$\rho$	Densité du gaz, $\frac{kg}{m^3}$
$\varphi$	L'angle optimal d'écoulement du rotor, degré

### Liste des indices

$cr$	Condition critique
$eq$	Equivalent aux condition standard des Etats-Unis aux niveau de la mer
$id$	idéale
$in$	Incidence

# Nomenclature

max	Maximum
opt	Optimum
R	Rotor
r	Composante radiale
S	Stator
u	Composante tangentielle, positive en direction de la vitesse de la roue
x	Composant méridional (composant dans le plan contenant l'axe de rotation)
0	Station à l'entrée de la turbine
1	Station à l'entrée du stator
2	Station à la sortie du stator
3	Station à l'entrée du rotor
4	Station à la sortie du rotor
5	Station à la sottie de la turbine

## Liste des exposants

'	Etats total absolu
''	Etats total relatif au rotor
*	Condition standards des Etats-Unis (niveau de la mer)

## La liste des figures

Figure 1.1: Volume de contrôle .....	4
Figure 1.2 : Machine réceptrice (turbine à gaz) .....	5
Figure 1.3 : Machine génératrice (ventilateur) .....	5
Figure 1.4 : Machines axiales .....	5
Figure 1.5 : Machines radiales .....	6
Figure 1.6 : Turbine mixte .....	6
Figure 1.7 : Plage d'utilisation des différentes turbomachines (suivant la vitesse spécifique) .....	7
Figure 2.1: turbine radiale .....	10
Figure 2.2 : station de référence de la turbine radiale .....	11
Figure 2.3 : triangle des vitesses .....	12
Figure 2.4: Schéma d'une Turbine Radiale .....	13
Figure 2.5 : évolution (h-s) de l'écoulement dans une turbine radiale .....	13
Figure 3.1 : écoulement d'un gaz à travers un volume de contrôle .....	15
Figure 3.2 : condition initial .....	16
Figure 3.3: écoulement dans une conduite .....	18
Figure 5.1. Contenu du fichier input du mode off-design .....	41
Figure 5.2 : les valeurs calculées du débit massique spécifique en fonction du rapport de pression .....	43
Figure 5.3: comparaison des résultats obtenus avec les résultats expérimentaux .....	43
Figure 5.4: évolution de l'efficacité en fonction de la vitesse du jet d'aube .....	45
Figure 5.5: comparaison des valeurs calculées du rendement statique par rapport aux résultats expérimentaux .....	45
Figure 5.6: évolution des résultats de l'efficacité totale calculée en fonction des vitesses du jet d'aube .....	47
Figure 5.7 : comparaison des résultats calculés et expérimentaux du rendement total .....	47

## **La liste des tableaux**

Tableau 5. 1: débit massique spécifique en fonction du rapport de pression .....	42
Tableau 5.2: efficacité statique en fonction de vitesse du jet d'aube .....	44
Tableau 5.3 : Efficacité totale en fonction de vitesse du jet d'aube.....	46

# SOMMAIRE

<b>NOMENCLATURE</b> .....	<b>I</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>IV</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>V</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Etude bibliographique</b>	
1 : Introduction .....	3
1.1 : Dynamique des fluides et turbomachine .....	3
1.1.1 Définition du fluide .....	3
1.1.2 Conservation de la masse .....	3
1.1.3 Conservation de la quantité de mouvement .....	4
1.1.4 Equation d'Euler .....	4
1.2. Classification des turbomachines .....	4
1.3 : Théorèmes de base et modélisation de l'écoulement unidimensionnel .....	8
1.3.1 : Définition .....	8
1.3.2 : Modélisation de l'écoulement .....	8
1.3.3 : Calcul du taux de détente .....	8
1.3.4 : Pertes dans une turbomachine .....	8
1.3.4.1 : Classification des pertes .....	8
A : Leur nature physique .....	8
B : la quantité d'énergie dissipée.....	9
<b>Chapitre II : TURBINE RADIALE</b>	
2.1 : Notion fondamentales .....	10
2.1.2 : Définition des turbines .....	10
2.1.3 : Turbine radiale .....	10
2.2 Constitution de la turbine radiale.....	10
2.2 : Description de la géométrie et du flux de la turbine radial .....	11
2.3 : Triangle des vitesses .....	12

# SOMMAIRE

2.4 : Diagramme h-s et l'efficacité isentropique.....	12
---	----

## Chapitre 3 : EQUATIONS

3-1 Equations de base d'un écoulement compressible unidimensionnel.....	15
3-2 Etat générateur .....	16
3-3 Propriétés isentropiques et de stagnation d'un écoulement .....	17
3-4 Ecoulements isentropiques dans les canalisations .....	17
3-5 Conditions critiques .....	19

## Chapitre 4 : Description du programme pour la turbine à flux radiale

4.1. Informations générales .....	31
4.2. Programme principal et sous programmes.....	31
4.3. Méthode d'analyse .....	31
4.4. Description de l'input.....	31
4.5. Description de l'output.....	32
4.6. Organigramme.....	33
4.7. Organigramme de la subroutine CONTIN.....	40

## Chapitre 5 : Résultats et discussions

5.1 Influence du débit massique spécifique .....	41
5.2 Influence du rendement statique.....	44
5.3 Influence du rendement total .....	46

<b>Conclusion</b> .....	48
-------------------------	----

<b>Référence</b> .....	49
------------------------	----

# Introduction

Les turbocompresseurs sont largement utilisés dans les moteurs diesel comme un moyen d'augmentation de la puissance de sortie. Lors de leurs premières apparitions ils ont été principalement utilisés dans le domaine de la propulsion marine et ils sont devenus au cours des dernières années au cœur de plusieurs applications de transport. Un turbocompresseur est constitué principalement de quatre éléments : un compresseur, une turbine et un arbre . Dans un turbocompresseur, l'énergie des gaz d'échappement du moteur est utilisée par une turbine qui entraîne un compresseur par un arbre. Cela signifie que l'énergie perdue dans le gaz d'échappement, qui peut être à peu près 30 à 40% de l'énergie chimique libérée par la combustion, est utilisée pour augmenter la densité de l'air admis dans le cylindre. Les turbocompresseurs avec des compresseurs radiaux et des turbines radiales sont les plus couramment utilisés en raison de leur capacité de fournir ou d'absorber plus de puissance en comparaison à celles de type axiales de taille similaire.

La turbine radiale est utilisée dans beaucoup d'applications en turbomachine pour sa compacité, robustesse, la production économique et sa faible vitesse spécifique. A l'heure actuelle, la plupart des constructeurs automobiles et développeurs de moteurs se concentrent sur la réduction des émissions de  $CO_2$ . Mis à part les futurs concepts comme les Piles à combustible et l'électrification du groupe motopropulseur, le seul moyen de respecter les normes en cours ainsi que les futures normes est le moteur réduit. Maintenir la puissance de sortie constante dans un moteur réduit conduit à une pression de suralimentation plus élevée et implique la nécessité d'une plage de fonctionnement plus large du turbocompresseur, puisque le rapport air-carburant doit être constante. Plus la pression de suralimentation est élevée, plus la puissance demandée par la turbine est importante. Les petites turbines radiales des turbocompresseurs à taille réduite subissent une réduction de rendement, puisque les pertes relatives augmentent avec la diminution des dimensions. En particulier, les pertes dues à l'écoulement de jeu augmentent avec l'augmentation de la distance qui sépare la tête des aubes du carter pour des raisons liées à la vitesse de rotation élevée du rotor et à la dilatation thermique des aubes et du carter. Une turbine radiale utilisée dans la suralimentation automobile doit être conçue pour résister à l'environnement hostile des contraintes et des températures élevées. Ces contraintes provoquent une limitation dans la conception qui restreint sévèrement l'espace de conception des aérodynamiciens.

Dans cette présente nous sommes attelés à rédiger et à reproduire le programme Fortran élaboré par Charles A. Wasserbauer and Arthur J. Glassman Lewis. Ce dernier permet de calculer les performances de la turbine radiale à partir des données géométriques de celle-ci [1-2]. Les entrées du code de calcul sont :

- $P_0'$  et  $P_1'$
- $T_0'$
- $V_{cr}$ ,  $(\rho'V_{cr})_1$ ,  $V_1$ ,  $V_{max}$  et  $V_{min}$
- $A_0$  et  $A_1$
- $TOL$
- $DELV$

Les sorties du code sont :

- Les performances de la turbine
- Rapport de températures absolues entre la sortie et l'entrée de la turbine
- Rapport de vitesses entre la sortie et l'entrée de la turbine
- Rapport de pressions entre la sortie et l'entrée de la turbine

# Introduction

- Le rendement total et statique
- La puissance de la turbine

Les équations sur lesquelles repose le code ont été détaillées et développées au chapitre III

Les résultats du code ont été comparés avec ceux données dans la littérature [1] , [2] avec succès et sont présentés au chapitre V.

En perspective, nous recommandant la poursuite de ce travail à fin d'étendre l'utilisation du code au cas du Mode design

# CHAPITRE 1: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## 1 : Introduction

Les turbomachines forment une famille importante d'appareils qui utilisent un fluide pour effectuer une transformation d'énergie. De manière général une turbomachine est une machine dans laquelle a lieu un transfert d'énergie entre une partie solide tournante (un rotor) et un fluide. On distingue généralement les turbomachines suivant que l'énergie est transférée du fluide vers le rotor ou du rotor vers le fluide [3]. Dans le premier cas, ce sont des machines génératrices comme les turbines à gaz, les turbines hydrauliques, les éoliennes, etc. Alors que dans le second cas, ce sont des machines réceptrices parmi lesquelles on retrouve les pompes, les compresseurs, les ventilateurs.

### 1.1 : Dynamique des fluides et turbomachine

#### 1.1.1 Définition du fluide

Les fluides sont divisés en liquides et en gaz. Un liquide est difficile à comprimer, le fluide liquide change sa forme en fonction de la forme de son récipient avec une surface libre en haut [4]. D'autre part, le gaz est facile à comprimer et se dilate complètement pour remplir son contenant. Il n'y a donc pas de surface libre.

Ces deux caractéristiques importantes d'un fluide, d'un point de vue de la mécanique des fluides sont la viscosité et la compressibilité.

En général, les liquides sont appelés fluides incompressibles et les gaz fluides compressibles. Néanmoins, pour les liquides, la compressibilité doit être prise en compte chaque fois qu'ils sont fortement pressurisés [5-6], et pour la compressibilité des gaz peuvent être ignoré chaque fois que le changement de pression est faible.

Il y a deux méthodes pour étudier le mouvement du flux. La première est une méthode qui suit toute particule arbitraire dans le temps. C'est ce qu'on appelle la méthode lagrangienne. L'autre est une méthode par laquelle, plutôt que de suivre une particule de fluide particulière, change en vitesse et en pression sont étudiés à des positions fixes dans l'espace x, y, z et heure t. Cette méthode est appelée méthode eulérienne.

Les principes fondamentaux de la conservation de la masse et de la conservation de la quantité de mouvement sont les éléments clés pour les applications dans le domaine des turbomachines.

#### 1.1.2 Écoulement conservatif :

La conservation de la masse représente le débit massique de fluide interne au volume de contrôle V est égale à la sommes des flux massique qui travers les frontière du volume considéré [3-7]. L'expression mathématique du principe est :

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho dV + \int_S \rho v \cdot dS = 0 \quad (1.1)$$

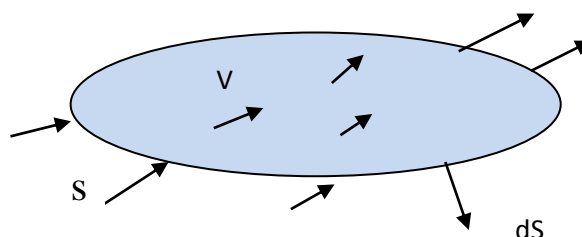


Figure 1.1: Volume de contrôle

# CHAPITRE 1: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## 1.1.3 Conservation de la quantité de mouvement

Le principe de la conservation de la quantité de mouvement indique que la sommation de force est égale à l'accumulation de la quantité de mouvement dans un volume de contrôle plus la somme des flux de la quantité de mouvement qui traversent les frontières du volume [3-5]

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_V \rho \vec{v} dV + \int_S \rho v^2 dS \quad (1.2)$$

Ce principe indique que la variation de l'impulsion angulaire est égale à la somme des forces des moments externes. Tel que pour la quantité de mouvement, la conservation du moment de la quantité de mouvement est couramment exprimé par la formule :

$$\sum \vec{M} = \frac{d}{dt} \int_V \vec{r} \times \rho \vec{v} dV + \int_S \vec{r} \times \rho v^2 dS \quad (1.3)$$

## 1.1.4 Equation d'Euler

Le point de départ pour l'étude des turbomachines est l'équation d'Euler.

Celle-ci peut être déduite aisément du principe de la conservation de l'impulsion angulaire ou moment de la quantité de mouvement. On particulier on considère un écoulement unidimensionnel en régime stationnaire dans le rotor d'une turbomachine ayant deux conditions uniformes à l'entrée et à la sortie noté par les indices 1 et 2. On applique alors l'équation 1.3

$$M = \int_S \vec{r} \times \rho v^2 dS = r_2 \times \rho_2 v_2 Q_2 - r_1 \times \rho_1 v_1 Q_1 \quad (1.4)$$

Q : débit volumique

D'autre part pour un écoulement unidirectionnel en régime permanent incompressible l'équation de la conservation de masse se traduit par :

$$\int_S \rho v \cdot dS = \int_{S_2} \rho_2 v_2 dS_2 - \int_{S_1} \rho_1 v_1 dS_1 = 0 \quad (1.5)$$

On encore  $\dot{m} = \rho_2 Q_2 = \rho_1 Q_1$  alors l'équation (1.3) devient :

$$M = \dot{m}(r_2 \times v_2 - r_1 \times v_1) \quad (1.6)$$

Bien que cette expression de l'équation d'Euler soit sous une forme mathématique élégante, elle requiert de modification pour être facilement utilisable et cela va se faire à l'aide de la notion des triangles des vitesses

## 1.2. Classification des turbomachines

De nombreux critères servent à classer les turbomachines [8]. Les plus importants sont les suivants :

**a : Sens de l'échange d'énergie :** On distingue les machines réceptrices qui reçoivent du travail et les machines motrices qui en fournissent. Parmi les machines réceptrices, on trouve les turbopompes, les ventilateurs, les turbosoufflantes, les turbocompresseurs et les hélices aériennes et marines. Les principales machines motrices sont les turbines à vapeur et à gaz, les turbines hydrauliques, ainsi que les éoliennes. Ces deux classes de machines présentent des différences

# CHAPITRE 1: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

importantes du point de vue de leur conception aérodynamique. En effet, les machines réceptrices sont le siège d'une compression (élévation de pression) du fluide, alors que les machines motrices font intervenir une détente. Or, les pertes visqueuses dans les écoulements fluides sont très sensibles au gradient de pression et augmentent fortement lorsque celui-ci devient trop important, en raison du phénomène de décrochage

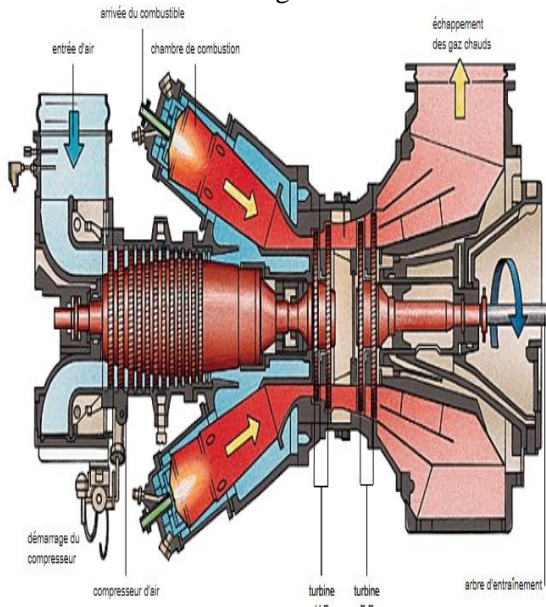


Figure 1.2 : Machine génératrice (turbine à gaz)



Figure 1.3 : Machine réceptrice (ventilateur)

**b : Direction principale du tube de courant :** Dans certaines machines, le tube de courant traversant la machine est essentiellement parallèle à l'axe de la machine, et on les appelle donc des machines axiales. Les hélices aériennes et marines appartiennent à cette catégorie, mais aussi certains ventilateurs, ainsi que les compresseurs et turbines axiaux des turboréacteurs, et les turbines hydrauliques de type Kaplan. Dans de nombreux cas, en particulier dans les turboréacteurs, les machines axiales comportent plusieurs étages.

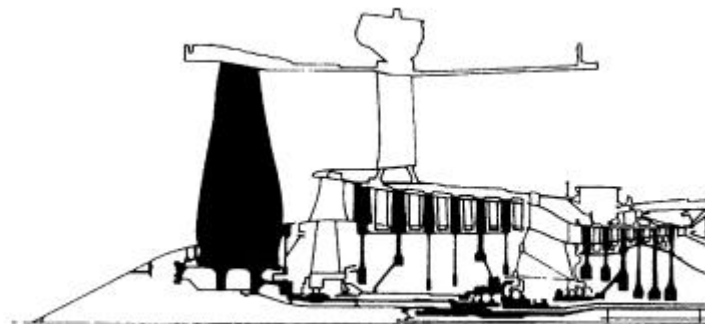
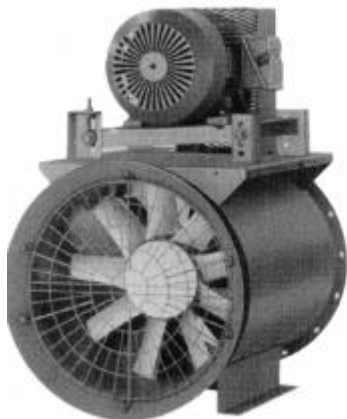


Figure 1.4 : Machines axiales

Dans d'autres machines au contraire, le tube de courant traversant la machine est essentiellement perpendiculaire à l'axe, la machine est dite radiale (centrifuge ou centripète). Elle peut échanger une plus grande quantité d'énergie dans un étage radial que dans un étage axial, de sorte que, pour une

# CHAPITRE 1: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

application donnée, une machine radiale comporte moins d'étages que la machine axiale équivalente. Bien évidemment, au voisinage de l'axe, l'écoulement doit prendre une direction axiale.

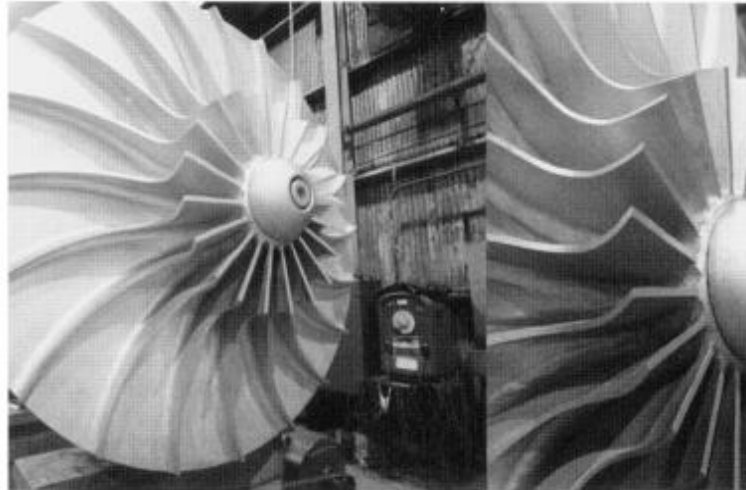


Figure 1.5 : Machines radiales

Il existe également des configurations intermédiaires, dites mixtes, dans lesquelles l'écoulement a des composantes tant axiales que radiale. C'est le cas par exemple des turbines hydrauliques de type Francis. Dans certaines machines enfin, l'écoulement est tangentiel, c.-à-d. que les particules fluides se déplacent dans un plan parallèle à l'axe de la roue.

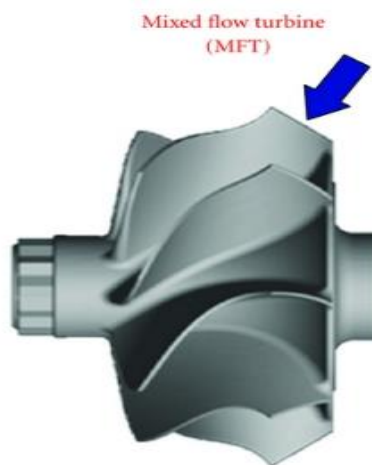


Figure 1.6 : Turbine mixte

Outre ces deux catégories principales [9], on distingue également

- Les machines hydrauliques (à écoulements incompressibles) et les machines à écoulements compressibles.
- Les machines à action, dans lesquelles la pression reste constante à travers le rotor, et les machines à réaction dans lesquelles elle varie.
- Les machines à admission totale, dans lesquelles le rotor est alimenté sur la totalité de sa surface d'entrée, et les machines à admission partielle où seule une partie du rotor est alimentée.

# CHAPITRE 1: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- La vitesse spécifique  $N_s$  est un paramètre caractérisant ces types de turbomachines [10]. Elle est basée sur les propriétés de similitude, qui permet de résoudre logiquement le problème du choix d'une turbomachine hydraulique répondant à une application donnée. Cette notion constitue, en effet, une base normale pour le classement des turbomachines selon leur type. Pour le point de fonctionnement ( $\omega$ ,  $Q$ ,  $H$ ) considéré, le coefficient de vitesse spécifique vaut:

$$N_s = \frac{N(Q)^{\frac{1}{2}}}{H^{0.75}} = \frac{N\left(\frac{w}{\rho s}\right)^{\frac{1}{2}}}{(Dh'_{id,t})^{0.75}} \quad (1.7)$$

$N$  : est la vitesse de rotation angulaire,

$Q = \left(\frac{w}{\rho}\right)$ : est le débit volumique et

$H = Dh'_{id,t}$  : est la chute d'enthalpie disponible.

Le terme vitesse spécifique est justifié dans la mesure où  $N_s$  est directement proportionnel à la vitesse de rotation. La valeur de  $N_s$  est très importante, puisqu'elle définira la géométrie de la turbomachine donnée, en imposant le type de roue, pour qu'elle fonctionne à son meilleur rendement (figure 1.7)

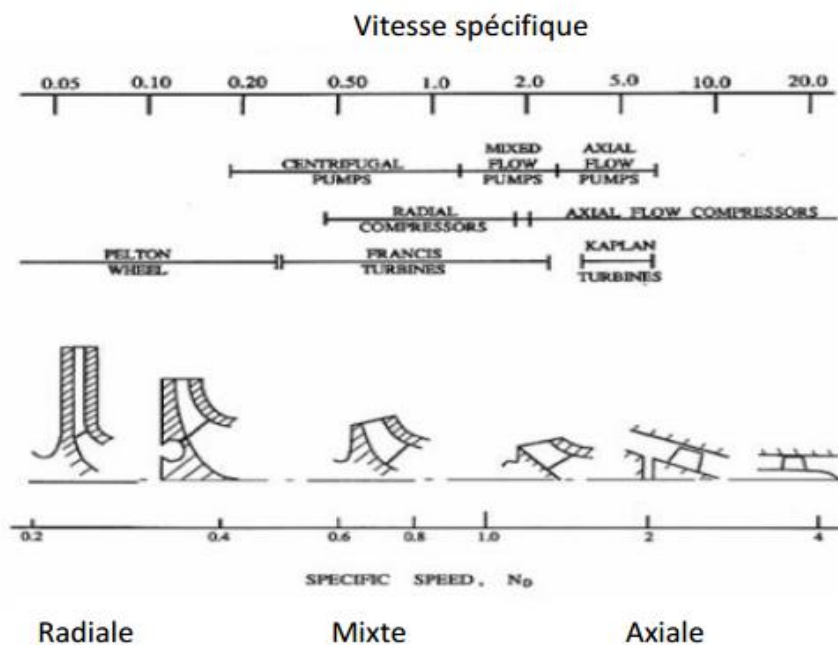


Figure 1.7 : Plage d'utilisation des différentes turbomachines (suivant la vitesse spécifique)

# CHAPITRE 1: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## 1.3 : Théorèmes de base et modélisation de l'écoulement unidimensionnel

### 13.1 : Définition

Dans les études préliminaires de conception et d'analyse des turbomachines, l'écoulement est supposé unidimensionnel; c'est à dire les propriétés aérodynamiques du fluide en écoulement restent constantes le long de cette ligne moyenne. Dans ce cas les grandeurs physiques calculées sont des valeurs moyennes situées entre l'entrée et la sortie de chaque élément constituant la machine à étudier [11].

### 1.3 .2 : Modélisation de l'écoulement

Bien que les turbines radiales existent dans leurs formes actuelles depuis le début siècle dernier, elles sont aujourd'hui des machines modernes conçues avec des outils modernes. L'objectif des concepteurs de turbine reste toujours l'augmentation des performances générales de la turbine. L'augmentation des performances des turbines radiales passe par une meilleure connaissance de l'écoulement dans la turbine [12-13].

La conception et l'étude de performance des turbines et de ses composantes sont historiquement des sciences expérimentales. Cependant, année après année, l'utilisation des méthodes numériques gagne en importance. La modélisation de l'écoulement des gaz dans la turbine est basée sur les hypothèses suivantes :

- l'écoulement est supposé stationnaire et unidimensionnel.
- Le fluide est compressible et il est assimilé à un gaz parfait
- La fonction d'état utilisée est celle de gaz parfaits et le rapport  $\gamma$  de chaleur spécifique a pression et a volume constant
- D'autre part, les transformations subies par le fluide sont adiabatiques et irréversibles.
- En connaissant outre ses données géométriques de la turbine, son débit et sa vitesse de rotation; qu'on va expliquer dans le chapitre suivant, On pourra calculer le taux de détente de la turbine

### 1.3.3 : Calcul du taux de détente

La méthode de calcul du taux de détente consiste à étudier la turbine en deux temps. Dans un premier temps (état statique), la roue de la turbine est bloquée, l'étude du mouvement du fluide permet de calculer la perte de pressions d'arrêt dans la turbine à l'état statique. Dans un deuxième temps (état dynamique), on étudiera le mouvement du fluide à travers la roue mobile tournant à une vitesse angulaire constante  $\omega$  pour tenir compte de l'effet des forces centrifuges. La combinaison des deux états précédents de la turbine (roue bloquée et roue tournante) permettra, à partir de la différence totale des pressions d'arrêt, de calculer explicitement le taux de détente [9].

### 1.3.4: Pertes dans une turbomachine

**1.3.4.1 : Classification des pertes :** On peut classer les pertes d'une turbomachine selon deux optiques différentes :

**A : Leur nature physique**, elles se subdivisent en :

- **pertes aérodynamiques d'aubages** : qui ont pour cause essentielle la viscosité du fluide, et qui se manifestent principalement dans tout canal fixe ou mobile par un terme de perte de charge
- **pertes par frottement de disque** : dues à la viscosité du fluide

# CHAPITRE 1: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- **pertes par fuites(ou volumétriques)** : dues à ce que de faibles fractions du fluide empruntent les passages étroits entre le rotor et le stator
- **pertes mécaniques** : qui correspondent à la puissance consommée par les organes (paliers, butée)
  - **B : la quantité d'énergie dissipée**
- **pertes internes** : dégradation de l'énergie recueillie par l'écoulement principal
- **pertes externes** : lorsqu'elle échappe à l'écoulement principal

# CHAPITRE 2 : TURBINE RADIALE

## 2.1 : Notion fondamentales :

**2.1.2 : Définition des turbines :** Les turbines font partie des turbomachines motrices d'où l'énergie est prélevée sur le fluide en écoulement et libérée vers l'extérieur sous la forme d'un travail mécanique. Les composants principaux d'une turbine sont le rotor qui tourne et le distributeur qui est lui en position fixe. L'ensemble constitue un étage. Souvent, la quantité d'énergie qui doit être prélevée sur le fluide est tellement grande qu'un étage unique ne suffit pas pour le faire. Plusieurs étages sont alors montés en série pour former une turbine à plusieurs étages. C'est le cas dans la pratique lorsque les différentiels de pression deviennent trop élevés pour un seul étage

### 2.1.3 : Turbine radiale :

- Une turbine radiale est semblable à un compresseur centrifuge.
- Les ailettes de diffuseur sont remplacées par un anneau d'ailettes de guide du rotor
- Le flux de gaz est dirigé vers l'intérieur à haute vitesse tangentielle et il quitte le rotor avec une vitesse très réduite près de l'axe de rotation
- Le rotor est normalement suivi par un diffuseur à la sortie pour réduire la vitesse d'échappement à une valeur négligeable.
- Dans des conditions de conception normales, la vitesse relative au bout du rotor est radiale (l'incidence zéro) et la vitesse absolue à la sortie est axiale [3].

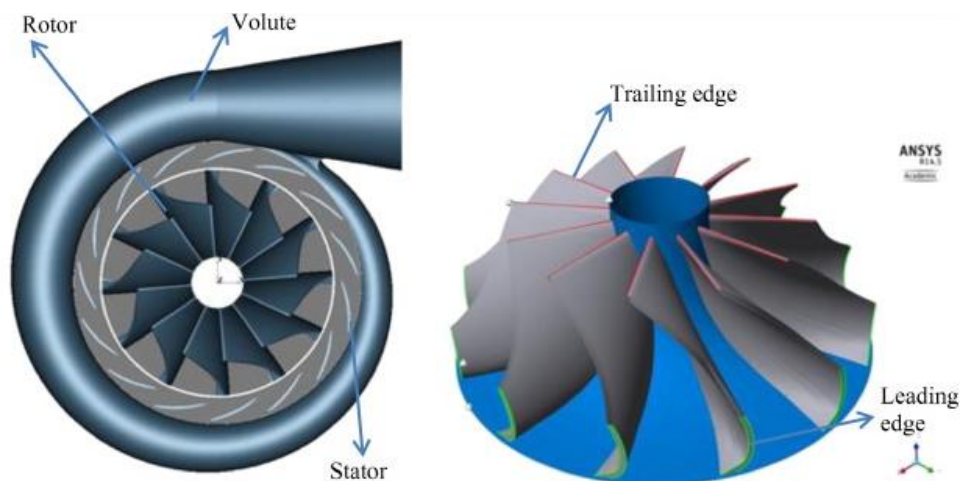


Figure 2.1: turbine radiale

## 2.2 Constitution de la turbine radiale :

Les éléments constituant la turbine radiale sont :

**Volute :** L'objectif de la volute est d'alimenter le stator d'une manière la plus uniforme que possible, c'est pourquoi la conception de la volute doit être convergente de manière à diriger le flux massique vers le stator et garder la pression constante à l'interface volute-stator.

**Le distributeur ou le stator ;** a pour rôle de conduire le fluide depuis la section d'entrée de la turbine à la section d'entrée du rotor en augmentant sa pression et lui donnant une vitesse et une direction appropriées. Ces aubes sont orientables afin de régler le débit [14].

- l'aubage étant fixe, il n'y a pas de déplacement du point d'application de la force. Donc pas de travail => pas d'échange d'énergie

## CHAPITRE 2 : TURBINE RADIALE

**Le rotor** ; au sein duquel s'effectue l'échange d'énergie par travail des forces aérodynamiques sur les aubes en rotation ; le fluide rentre dans une direction radiale et ressort dans une direction axiale [14].

- Le point d'application de la force se déplace du fait de la rotation des aubages, il y'a donc travail => échange d'énergie

**Le diffuseur** ; a pour rôle de collecter le fluide à la sortie du rotor et l'amener à la section de sortie de la turbine, ces aubes fixes sont notamment utiles et servent à ramener l'écoulement dans la direction principale du tube de courant, raison pour laquelle on utilise parfois le terme redresseur. Un diffuseur pour les pompes et compresseurs, pour des raisons qui apparaîtront.

**La section de sortie de la turbine** ; elle est celle comprise entre laSection de sortie du diffuseur et la sortie de la turbine.

### 2.3 : Description de la géométrie et du flux de la turbine radial

Les turbines à flux radial sont appropriées aux applications aérodynamiques, des installations électriques spatiales et d'autres domaines où des sources de puissance compactes sont exigées. Les avantages principaux des turbines à flux radial sont la haute efficacité, la facilité de fabrication, la construction vigoureuse et la fiabilité [15].

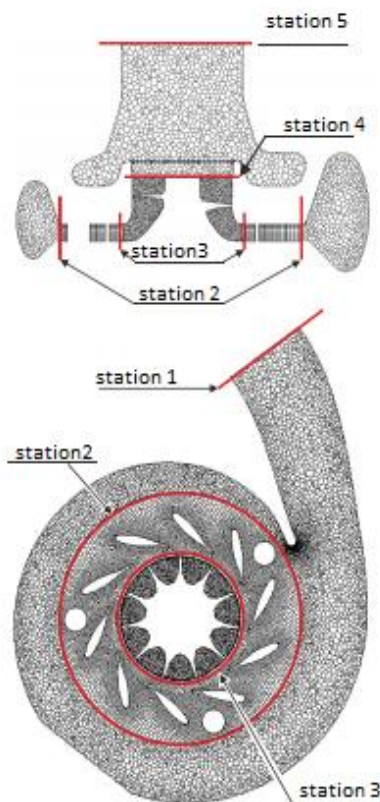


Figure 2.2: station de référence de la turbine radiale [16]

## CHAPITRE 2 : TURBINE RADIALE

Comme le montre la Figure 2.2, le flux entre dans le stator radialement et quitte le rotor axialement. Entre des stations de référence 0 et 2 il y a le stator. Le rotor se trouve entre les stations de référence 3 et 4. Les étages de turbine radiale se trouvent entre les stations 1 et 4. Le flux n'est pas principalement dans la direction axiale, l'écoulement du fluide est défini le long de la ligne moyenne de courant et il est spécifié uniquement à l'entrée et à la sortie (1 et 4)

### 2.4 : Triangle des vitesses

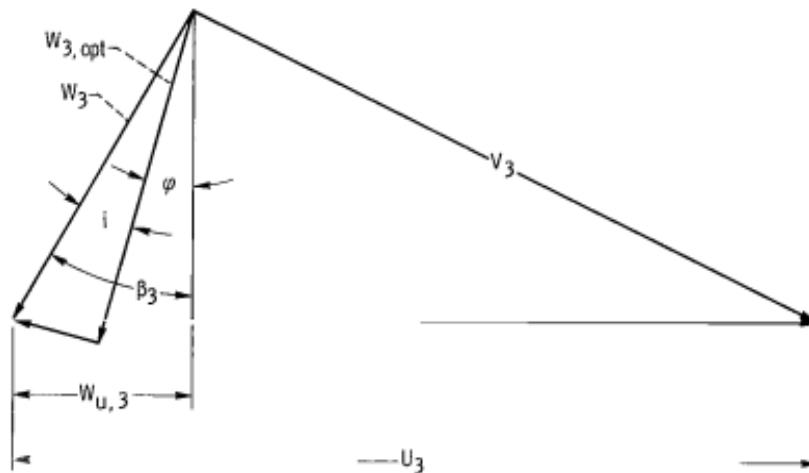


Figure 2.3: triangle des vitesses [1].

Les triangles de vitesse montrés dans la figure 2.3, sont la base de la conception dimensionnelle. La vitesse  $V$  est la vitesse absolue du gaz. La vitesse  $U$  caractérise la vitesse rotative des aubes. L'aube est la référence pour laquelle la vitesse relative  $W$  est interprétée. La projection horizontale de  $V$  est appelée  $V_u$ . Le composant vertical de  $V$  est appelé  $V_r$ .

### 2.5 : Diagramme h-s et l'efficacité isentropique

Le flux du fluide compressible dans une turbine à flux radial implique de grandes accélérations et de grandes décélérations qui ne peuvent pas être accomplis par des transferts de travail externes. Le concept de la stagnation ou l'état total est défini comme la valeur pour que le fluide va atteindre s'il a suivi un chemin isentropique ; c'est l'une des bases fondamentales de la dynamique des gaz compressibles et de la définition de la stagnation on déduit que l'enthalpie de stagnation est égale à la somme de l'enthalpie statique en rajoutant l'énergie cinétique [17].

$$h_t = h_u + \frac{1}{2}V^2 \quad (2.8)$$

La turbine est destinée à convertir l'enthalpie en un travail mécanique utile

## CHAPITRE 2 : TURBINE RADIALE

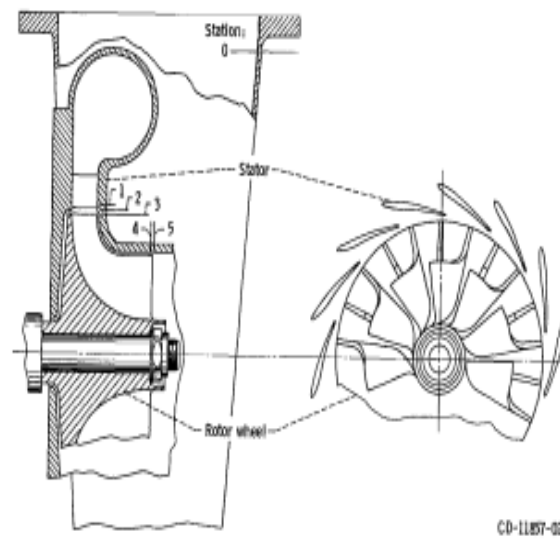


Figure 2.4: Schéma d'une Turbine Radiale

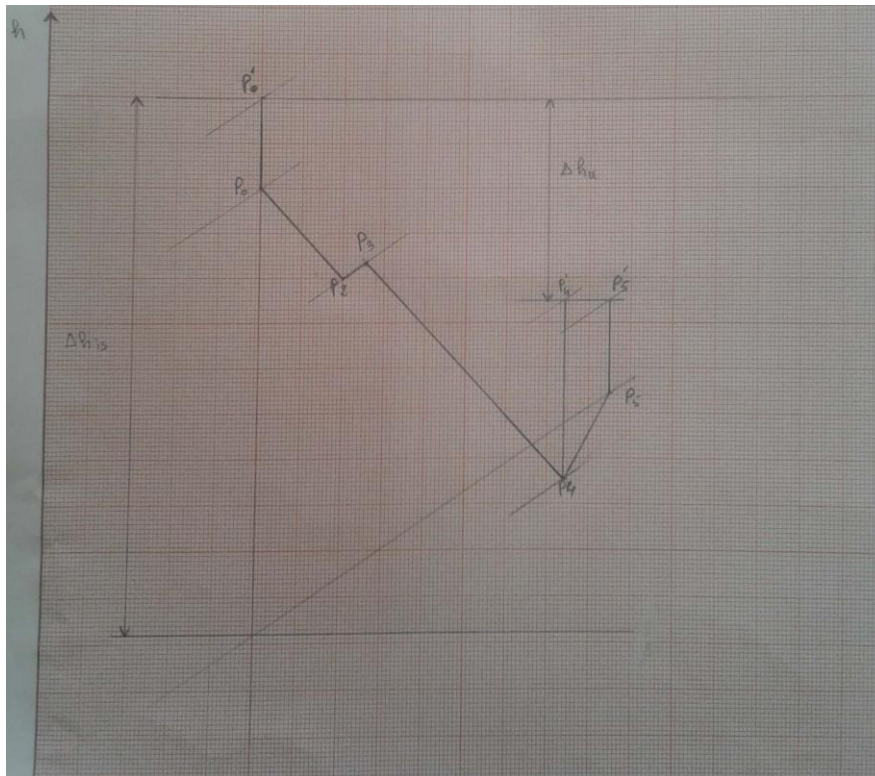


Figure 2.5 : évolution ( $h-s$ ) de l'écoulement dans une turbine radiale

L'étage de la turbine radiale est représenté dans la figure 2.4, est constitué d'une volute et d'un distributeur (0-2), d'un rotor (2-3) et d'un diffuseur (3-4). La figure 2.4 montre le processus de détente du fluide moteur le long des différents éléments qui constituent la turbine; les états

## CHAPITRE 2 : TURBINE RADIALE

thermodynamiques 0, 2, 3 et 4 correspondent à l'entrée de la turbine, à la sortie du distributeur (entrée du rotor), à la sortie du rotor (entrée du diffuseur) et à la sortie de la turbine respectivement.

0-0 : entrée de la volute (entrée de la turbine)

2-3 : sortie du distributeur / entrée de la roue

4 -5: sortie du rotor / entrée du diffuseur de sortie

5-5: sortie du diffuseur (sortie de la turbine).

L'évolution des états thermodynamiques du fluide peut être suivie sur un Diagramme (h-s) comme le montre la Figure 2.5 Pour un étage quelconque de la turbine , le travail spécifique (ou chute d'enthalpie utile) $\Delta h_u$  échangé par le fluide et le rotor dans le cas d'une détente adiabatique ainsi que la chute d'enthalpie idéale  $\Delta h_{u,is}$  d'une évolution isentropique sont également représentés. Dans ce diagramme, nous avons représenté les évolutions réelles et les évolutions isentropiques correspondantes. Les irréversibilités sont traduites par les différentes pertes au niveau de chaque élément de la turbine.

# CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ÉCOULEMENT

## 3-1 Equations de base d'un écoulement compressible unidimensionnel :

L'équation de l'énergie entre les deux sections peut être écrite en utilisant le premier principe de la thermodynamique d'un gaz s'écoulant à travers un volume de contrôle comme montré sur la figure 3-1 par la relation suivante[18]:

$$u_1 + P_1 v_1 + gz_1 + \frac{1}{2} V_1^2 + Q_1 + W_1 = u_2 + P_2 v_2 + gz_2 + \frac{1}{2} V_2^2 + Q_2 + W_2 \quad (3-1)$$

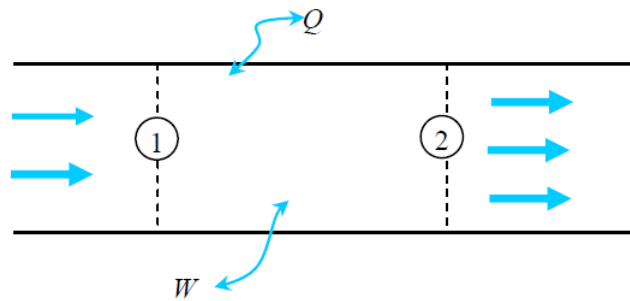


Figure 3.1 : écoulement d'un gaz à travers un volume de contrôle

Où :

$\Delta u$  : La variation de l'énergie interne.

$\Delta Q$  : La quantité de chaleur échangée.

$\Delta W = W_2 - W_1$  : Le travail mécanique entre la sortie et l'entrée.

$g\Delta z$  : La variation de l'énergie potentielle.

$P_2 v_2 - P_1 v_1$  : La variation du travail spécifique (énergie de pression).

En supposant que l'écoulement est sans échanges de chaleur avec le milieu extérieur, ni de travail mécanique (c'est le cas des écoulements dans les conduites) :

On obtient :

$$U_1 + P_1 v_1 + gz_1 + \frac{1}{2} V_1^2 = U_2 + P_2 v_2 + gz_2 + \frac{1}{2} V_2^2$$

D'où l'équation de l'énergie totale d'un écoulement de fluide interne:

$$U + \frac{P}{\rho} + gz + \frac{1}{2} V^2 = cte \quad (3-2)$$

Si le fluide en écoulement est incompressible ( $\rho = cte$ ) avec une faible variation de la température qui entraîne une constance de l'énergie interne ; et l'équation (3-2) sera :

$$\frac{P}{\rho} + gz + \frac{1}{2} V^2 = cte$$

Ou bien sous une autre forme :

$$P_t = P + \rho gz + \frac{1}{2} \rho V^2 = cte \quad (3-3)$$

Où :

$P$  : La pression statique.

$\frac{1}{2} \rho V^2$  : La pression dynamique.

# CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ECOULEMENT

$\rho gz$  : La pression de potentiel (de la pesanteur).

$P_t = cte$  : La pression totale.

Pour un fluide compressible, on introduit le concept de l'enthalpie, on aura:

$$h_t = h + gz + \frac{1}{2}V^2 = cte \quad (3-4)$$

Avec :

$$\text{Enthalpie statique : } h = u + \frac{P}{\rho}$$

Et  $h_t = cte$  : enthalpie totale (ou de stagnation).

D'où:

$$h_t = h_1 + gz_1 + \frac{1}{2}V_1^2 = h_2 + gz_2 + \frac{1}{2}V_2^2$$

Mais comme, les variations de l'énergie potentielle sont extrêmement petites devant celles de l'enthalpie et l'énergie cinétique, on peut négliger les termes  $gz_1$  et  $gz_2$  dans nos analyses gazo-dynamiques, donc l'équation de l'énergie sera finalement :

$$h_t = h + \frac{1}{2}V^2 = cte \quad (3-5)$$

Qui donne l'énergie totale d'un écoulement d'un gaz dans les conduites.

## 3-2 Etat générateur :

En supposant que le fluide compressible se décharge d'un réservoir de très grandes dimensions, les conditions dans cet état (générateur) seront appelées les conditions initiales, ce qui entraîne  $V_0 = V \approx 0$  (avec l'indice 0 marquant les propriétés au réservoir), et si on considère un gaz parfait :

$$c_p \equiv \left. \frac{\partial h}{\partial T} \right|_p \quad \text{Et } c_p = cte$$

On aura :

$$c_p T_t \equiv c_p T_0 = c_p T + \frac{1}{2}V^2 \quad (3-6)$$

Sachant que :

$$\begin{cases} \gamma = \frac{c_p}{c_v} \\ c_p - c_v = R \end{cases} \Rightarrow c_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1}$$

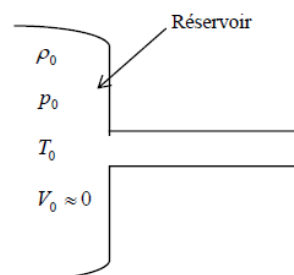


Figure3.2 : Condition initial

## CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ÉCOULEMENT

Ce qui donne :

$$\frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P_0}{\rho_0} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P}{\rho} + \frac{1}{2} V^2$$

Sachant que la vitesse du son d'un gaz parfait s'écrit:  $a^2 = \gamma RT = \gamma \frac{P}{\rho}$

On obtient donc:

$$\frac{a_0^2}{\gamma-1} = \frac{a^2}{\gamma-1} + \frac{1}{2} V^2 \quad (3-7)$$

Où  $a_0$  et  $a$  dénotent respectivement les vitesses du son aux conditions initiales (au réservoir) et statique.

En introduisant le nombre de Mach comme paramètre  $\left( M = \frac{V}{a} \right)$ , l'équation (3-13) peut être réécrite

comme suit :

$$\frac{a_0^2}{a^2} = 1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \quad (3-8)$$

Et avec  $a^2 = \gamma RT$  le rapport des températures totale et statique est :

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2$$

Où :

$T_0$  : La température totale

$T$  : La température statique.

$M$  : Le nombre de Mach.

### 3-3 Propriétés isentropiques et de stagnation d'un écoulement :

Si l'écoulement est isentropique  $\frac{P}{\rho^\gamma} = cte$ , les rapports des pressions et des densités pour un gaz parfait ( $P = \rho RT$ ) sont calculées par :

$$\frac{P_0}{P} = \left( 1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$\text{Et } \frac{\rho_0}{\rho} = \left( \frac{P_0}{P} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = \left( 1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

Où  $P_0$  et  $\rho_0$  dénotent respectivement la pression et la densité isentropiques de stagnation.

Ces formules sont applicables dans les écoulements des fluides compressibles entre le point de stagnation et un point quelconque au sein du fluide

### 3-4 Écoulements isentropiques dans les canalisations :

Considérons le cas de l'écoulement compressible d'un gaz parfait entre deux sections du canal (figure 3-3).

## CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ÉCOULEMENT

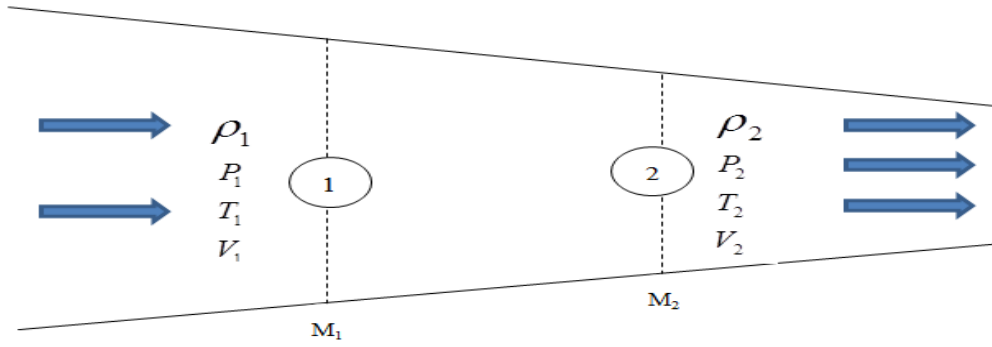


Figure 3.3: écoulement dans une conduite

L'équation (3-14) donne :

$$h_0 = h + \frac{1}{2}V^2 = cte \Rightarrow h_0 = h_1 + \frac{1}{2}V_1^2 = h_2 + \frac{1}{2}V_2^2 = cte$$

$$\text{D'où : } \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P_1}{\rho_1} + \frac{1}{2}V_1^2 = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{1}{2}V_2^2$$

$$\Rightarrow \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \left[ \frac{P_2}{\rho_2} - \frac{P_1}{\rho_1} \right]$$

Et pour un écoulement isentropique:  $\frac{P}{\rho^\gamma} = cte$

$$\frac{P_1}{\rho_1^\gamma} = \frac{P_2}{\rho_2^\gamma} \Rightarrow \frac{P_2}{\rho_2} = \rho_2^{\gamma-1} \left( \frac{P_1}{\rho_1^\gamma} \right)$$

$$\text{On obtient : } \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P_1}{\rho_1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} - 1 \right] \quad (3-9)$$

Cette équation permet de calculer la vitesse V dans une section quelconque du canal, en connaissant seulement la pression statique.

L'équation de Barré de Saint-Venant est un cas spécial de l'équation (3-9) où les suppositions suivantes sont prises :  $V_1 = V_0 = 0$ ,  $P_1 = P_0$ ,  $P_2 = P$ ,  $V_2 = V$ .

$$\text{On obtient : } -\frac{V_2}{2} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P_0}{\rho_0} \left[ \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} - 1 \right] \Rightarrow V = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{P_0}{\rho_0} \left[ 1 - \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right]} \quad (3-10)$$

L'équation de Saint-Venant donne la vitesse du gaz dans une section à conditions de connaître les conditions initiales (au réservoir) et la pression statique à cette section, ou sous la forme suivante :

## CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ÉCOULEMENT

$$V = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} RT_0 \left[ 1 - \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right]}$$

Et l'équation Saint-Venant montre que l'annulation de la pression engendre une augmentation de la vitesse jusqu'à une valeur limite :

$$V_L = V_{\max} = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} RT_0} = \sqrt{2c_p T_0}$$

$$\text{Aussi : } V_L = \sqrt{\frac{2}{\gamma-1}} a_0$$

### 3-5 Conditions critiques :

Les propriétés de stagnation  $(a_0, T_0, P_0, \rho_0)$  sont utiles comme référence pour l'écoulement compressible, mais ils existent d'autres propriétés d'une utilité comparable à savoir les conditions où l'écoulement est sonique,  $M = 1.0$ . Ces conditions soniques ou critiques seront notées par un astérisque :  $P^*, \rho^*, a^*, T^*$ . Ils présentent certains rapports aux conditions de stagnation (totales) donnés par les équations suivantes avec  $M = 1$  et  $\gamma = 1.4$

$$\left. \begin{aligned} \frac{P^*}{P_0} &= \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \\ \frac{T^*}{T_0} &= \frac{2}{\gamma+1} \\ \frac{\rho^*}{\rho_0} &= \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \\ \frac{a^*}{a_0} &= \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (3-11)$$

Dans tous les écoulements isentropiques, les propriétés critiques sont constantes. La vitesse critique  $V^*$  est égale à la vitesse du son critique  $a^*$  par définition et souvent utilisée comme vitesse de référence pour l'écoulement isentropique :

$$V^* = a^* = \sqrt{\gamma RT^*} = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma+1} RT_0}$$

Avec l'aide des équations précédentes on a :

$$h' = h_1 + \frac{1}{2} V^2$$

$$c_p T' = c_p T + \frac{1}{2} V^2$$

## CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ÉCOULEMENT

$$\frac{\gamma R}{\gamma-1} T' = \frac{\gamma R}{\gamma-1} T + \frac{1}{2} V^2$$

$$\frac{a^2}{\gamma-1} = \frac{a^2}{\gamma-1} + \frac{1}{2} V^2$$

$$\frac{a^2}{a^2} = 1 - \frac{\gamma-1}{2} \frac{V^2}{a^2}$$

Avec  $V_{cr} = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma+1} RT'} = \sqrt{\frac{2a'^2}{\gamma+1}}$

$$V_{cr}^2 = \frac{2a'^2}{\gamma+1} \Rightarrow a'^2 = V_{cr} \frac{\gamma+1}{2}$$

$$\frac{a^2}{a'^2} = 1 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1} \left( \frac{V}{V_{cr}} \right)^2 \quad (3-12)$$

Avec  $a^2 = \gamma RT$  le rapport des températures total et statique est :

$$\frac{T}{T'} = 1 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1} \left( \frac{V}{V_{cr}} \right)^2 \quad (3-13)$$

On a un écoulement isentropique  $\Rightarrow \frac{P}{\rho^\gamma} = \frac{P'}{\rho'^{\gamma'}} = cte$  et les rapports de pression

$$\begin{aligned} \frac{P'}{P} &= \left( \frac{\rho'}{\rho} \right)^\gamma = \frac{\left( \frac{P'}{RT'} \right)^\gamma}{\left( \frac{P}{RT} \right)^\gamma} = \left( \frac{P'}{T'} \right)^\gamma \left( \frac{T}{P} \right)^\gamma \\ \Rightarrow \left( \frac{T}{T'} \right)^\gamma &= \left( \frac{P}{P'} \right)^\gamma \end{aligned} \quad (3-14)$$

A partir des équations (3-20), (3-21) et (3-22) on aboutit a

$$\Rightarrow \frac{P}{P'} = \left( \frac{T}{T'} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = \left[ 1 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1} \left( \frac{V}{V_{cr}} \right)^2 \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (3-15)$$

Le rapport de densité est :

## CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ECOULEMENT

$$\frac{P}{\rho^\gamma} = \frac{P'}{\rho'^\gamma} \Rightarrow \frac{P}{P'} = \left(\frac{\rho}{\rho'}\right)^\gamma$$

$$\left(\frac{\rho}{\rho'}\right)^\gamma = \left(\frac{T}{T'}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = \left[1 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1} \left(\frac{V}{V_{cr}}\right)^2\right]^{\left(\frac{1}{\gamma-1}\right)} \quad (3-16)$$

D'où le débit massique par unité de surface est donné par la relation suivante :

$$\left(\frac{\rho V}{\rho' V_{cr}}\right) = \frac{V}{V_{cr}} \left[1 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1} \left(\frac{V}{V_{cr}}\right)^2\right]^{\left(\frac{1}{\gamma-1}\right)} \quad (3-17)$$

Et la relation de continuité dans la station 0 donne :

$$\left(\frac{\rho V}{\rho' V_{cr}}\right)_0 = \frac{P'_1}{P'_0} \left(\frac{\rho V}{\rho' V_{cr}}\right)_1 \frac{A_1}{A_0} \cos \alpha_1 \quad (3-18)$$

De là on calcule le débit massique comme suit:

$$W = \rho V A_0$$

$$W = \left(\frac{\rho V}{\rho' V_{cr}}\right)_0 (\rho' V_{cr})_0 A_0 \quad (3-19)$$

En introduisant l'équation (2) dans (3) on obtient

$$W = \frac{P'_1}{P'_0} \left(\frac{\rho V}{\rho' V_{cr}}\right)_1 \frac{A_1}{A_0} \cos \alpha_1 (\rho' V_{cr})_0 A_0$$

$$W = \frac{P'_1}{P'_0} \left(\frac{\rho V}{\rho' V_{cr}}\right)_1 A_1 \cos \alpha_1 (\rho' V_{cr})_0 \quad (3-20)$$

La valeur de  $(\rho' V_{cr})_0$  est obtenue d'après les conditions d'entrée  $P'_0$  et  $T'_0$  en utilisant la loi des gaz parfait

$$\rho' = \frac{P'}{RT} \text{ et } V_{cr} = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma+1} RT'}$$

Par la suite on calcule la nouvelle valeur de  $\alpha_1$  à partir du triangle des vitesses.

$$\left(\frac{V_u}{V_{cr}}\right)_1 = \left(\frac{V}{V_{cr}}\right)_1 \sin \alpha_1 \quad (3-21)$$

## CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ECOULEMENT

$$\left(\frac{V_r}{V_{cr}}\right)_1 = \left(\frac{V}{V_{cr}}\right)_1 \cos \alpha_1 \quad (3-22)$$

Les conditions à la station 2 sont déterminées on supposant que :

$$(\rho V_{cr})_1 = (\rho V_{cr})_2 \text{ Ce qui implique que : } D_2 = D_1 \text{ et } \left(\frac{V_u}{V_{cr}}\right)_1 = \left(\frac{V_u}{V_{cr}}\right)_2$$

Donc la relation de continuité entre les stations 1 et 2 s'écrit sous la forme suivante :

$$\left(\frac{\rho V}{\rho V_{cr}}\right)_1 B_1 \cos \alpha_1 = \left(\frac{\rho V}{\rho V_{cr}}\right)_2 \cos \alpha_2 \quad (3-23)$$

$$\text{Avec } B_1 = \frac{A_1}{A_2}$$

$$\text{Et } \left(\frac{\rho V}{\rho V_{cr}}\right)_2 \cos \alpha_2 = \left[1 - \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \left[ \left(\frac{V_r}{V_{cr}}\right)_2^2 + \left(\frac{V_u}{V_{cr}}\right)_2^2 \right] \right]^{\frac{1}{\gamma - 1}} \left(\frac{V_r}{V_{cr}}\right)_2 \quad (3-24)$$

La valeur de  $\left(\frac{V_r}{V_{cr}}\right)_2$  est déduite de l'équation (3-24) et du diagramme du triangle des vitesses:

$$\left(\frac{V}{V_{cr}}\right)_2 = \left[ \left(\frac{V_u}{V_{cr}}\right)_2^2 + \left(\frac{V_r}{V_{cr}}\right)_2^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3-25)$$

$$\text{Et } \cos \alpha_2 = \frac{\left(\frac{V_r}{V_{cr}}\right)_2}{\left(\frac{V}{V_{cr}}\right)_2} \quad (3-26)$$

Les conditions à la station 3 sont déterminées on supposant que  $(\rho V_{cr})_2 = (\rho V_{cr})_3$

$$\text{Et } dA_1 = dA_2 \Rightarrow d\left(\frac{D_2}{2} S_2\right) = d\left(\frac{D_3}{2} S_3\right) \Rightarrow \frac{D_2}{2} \left(\frac{V_u}{V_{cr}}\right)_2 = \frac{D_3}{2} \left(\frac{V_u}{V_{cr}}\right)_3$$

La relation de continuité entre la station 2 et 3 est donnée par :

$$\left(\frac{\rho V}{\rho V_{cr}}\right)_2 \frac{D_2}{D_3} \cos \alpha_2 = \left(\frac{\rho V}{\rho V_{cr}}\right)_3 \cos \alpha_3 \quad (3-27)$$

Avec

## CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ECOULEMENT

$$\left(\frac{\rho V}{\rho' V_{cr}}\right)_3 \cos \alpha_3 = \left\{ 1 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1} \left[ \left(\frac{V_u}{V_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{V_r}{V_{cr}}\right)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{\gamma-1}} \left(\frac{V_r}{V_{cr}}\right)_3 \quad (3-28)$$

De l'équation on extrait la valeur de  $\left(\frac{V_r}{V_{cr}}\right)_3$  et avec le triangle des vitesses on trouve la valeur de

$$\left(\frac{V}{V_{cr}}\right)_3 = \sqrt{\left[\left(\frac{V_u}{V_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{V_r}{V_{cr}}\right)^2\right]}_3 \quad (3-29)$$

$$\text{Et donc } \cos \alpha_3 = \frac{\left(\frac{V_r}{V_{cr}}\right)_3}{\left(\frac{V}{V_{cr}}\right)_3} \quad (3-30)$$

### Analyse du rotor

La relation entre les paramètres relatifs et absolus à l'entrée du rotor est donnée par les relations qui suivent :

$$\left(\frac{T''}{T'}\right)_3 = \left\{ 1 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1} \left[ \frac{2U_3 V_{u,3}}{V_{cr,3}^2} - \left(\frac{U}{V_{cr}}\right)_3^2 \right] \right\} \quad (3-31)$$

$$\frac{P_3''}{P_3'} = \left(\frac{T_3''}{T_3'}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (3-32)$$

$$\left(\frac{W_{cr}}{V_{cr}}\right)_3 = \left(\frac{T_3''}{T_3'}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3-33)$$

$$\text{D'où } \left(\frac{\rho''}{\rho'}\right)_3 \left(\frac{W_{cr}}{V_{cr}}\right)_3 = \left(\frac{T_3''}{T_3'}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\rho''}{\rho'}\right)_3 \quad (3-34)$$

$$\left(\frac{\rho'' W_{cr}}{\rho' V_{cr}}\right)_3 = \left(\frac{T_3''}{T_3'}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{T_3''}{T_3'}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \quad (3-35)$$

## CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ECOULEMENT

$$\left( \frac{\rho W_{cr}}{\rho V_{cr}} \right)_3 = \left( \frac{T''_3}{T'_3} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \quad (3-36)$$

Le diagramme du triangle des vitesses donne :

$$\left( \frac{W_u}{W_{cr}} \right)_3 = \left[ \left( \frac{V_u}{V_{cr}} \right)_3 - \left( \frac{U}{V_{cr}} \right)_3 \right] \left( \frac{V_{cr}}{W_{cr}} \right)_3 \quad (3-37)$$

$$\left( \frac{W}{W_{cr}} \right)_3 = \sqrt{\left( \frac{W_u}{W_{cr}} \right)_3^2 + \left( \frac{V_r}{V_{cr}} \right)_3^2} \left( \frac{V_{cr}}{W_{cr}} \right)_3 \quad (3-38)$$

$$\left( \frac{W_r}{W_{cr}} \right)_3 = \sqrt{\left( \frac{W}{W_{cr}} \right)_3^2 - \left( \frac{W_u}{W_{cr}} \right)_3^2} \quad (3-39)$$

$$\beta_3 = \sin^{-1} \frac{\left( \frac{W_u}{W_{cr}} \right)_3}{\left( \frac{W}{W_{cr}} \right)_3} \quad (3-40)$$

L'angle du flux optimal du rotor est calculé comme suit[1]:

$$\frac{V_{u,3,opt}}{U_3} = 1 - \frac{1.98}{z} \quad (3-41)$$

$$W_{u,3,opt} = \left( \frac{V_{u,3,opt}}{U_3} \right) U_3 \quad (3-42)$$

$$W_{u,3,opt} = V_{u,3,opt} - U_3 \quad (3-43)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left[ \frac{\frac{V_{u,3,opt}}{V_{cr,3}}}{\left( \frac{V_r}{V_{cr}} \right)_3} \right] \quad (3-44)$$

L'angle d'incidence au rotor est :

$$i_3 = \beta - \varphi \quad (3-45)$$

## CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ECOULEMENT

La ligne radiale du rotor diminue de l'entrée à la sortie, ce qui induit la diminution de la température relative qui s'exprime comme suite :

$$\frac{T''_4}{T''_3} = 1 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1} \left( \frac{U_3}{W_{cr,3}} \right)^2 \left[ 1 - \left( \frac{U_4}{U_3} \right)^2 \right] \quad (3-46)$$

Ce qui permet de calculer les paramètres relatifs à la sortie du rotor

$$\frac{P''_{4,id}}{P''_3} = \left( \frac{T''_4}{T''_3} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (3-47)$$

$$\frac{W_{cr,4}}{W_{cr,3}} = \sqrt{\frac{T''_4}{T''_3}} \quad (3-48)$$

$$\frac{\rho'' W_{cr,4}}{\rho'' W_{cr,3}} = \left( \frac{T''_4}{T''_3} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \quad (3-49)$$

Les conditions de sortie au rotor sont calculées en utilisant la relation de continuité entre les stations 3 et 4

$$(\rho A W_r)_3 = (\rho A W_r)_4$$

Qui s'écrit comme suit :

$$\left( \frac{\rho W}{\rho'' W_{cr}} \right)_4 = \frac{\left( \frac{\rho W}{\rho'' W_{cr}} \right)_3 \frac{A_3 \cos \beta_3}{A_4 \cos \beta_4} (\rho A W_r)_3}{\frac{P''_4}{P''_{4,id}} \frac{(\rho'' W)_{4,id}}{(\rho'' W)_3}} \quad (3-50)$$

Où  $A_4 = B_4 A_5$

Et de là on calcule la pression totale relative du rotor ;  $\frac{P''_4}{P''_{4,id}}$ , donnée par :

$$\frac{P''_4}{P''_{4,id}} = \left[ \frac{1 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1} \left( K \left( \frac{W}{W_{cr}} \right)_4^2 + \left( \frac{W_3}{W_{cr,4}} \right)^2 (K \cos^2 i_3 + \sin^2 i_3) \right)}{1 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1} \left( \frac{W}{W_{cr}} \right)_4^2} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (3-51)$$

Les termes des quantités relatives sont déterminés par l'équation (3-17).

## CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ECOULEMENT

La pression totale relative est déterminée à l'aide d'une procédure itérative  $\left( \frac{P''_4}{P''_{4,id}} \right)$

Les conditions en amont du rotor sont tenus fixes. Le rapport de vitesse descend au-dessous du point critique, la valeur de l'angle de sortie sera calculée comme suite :

$$\cos \beta_4 = \frac{\left( \frac{\rho W}{\rho'' W} \right)_3 \frac{A_3}{A_4} \cos \beta_3}{\frac{P''_4}{P''_{4,id}} \left( \frac{\rho'' W_{cr}}{\rho'' W_{cr}} \right)_{4,id} \left( \frac{\rho W}{\rho'' W_{cr}} \right)_4} \quad (3-52)$$

Le diagramme de vitesse donne

$$\left( \frac{W_u}{W_{cr}} \right)_4 = \left( \frac{W}{W_{cr}} \right)_4 \sin \beta_4 \quad (3-53)$$

$$\left( \frac{W_x}{W_{cr}} \right)_4 = \left( \frac{W}{W_{cr}} \right)_4 \cos \beta_4 \quad (3-54)$$

Les conditions à la station 5 sont déterminées on supposant que  $(\rho'' W_r)_4 = (\rho'' W_r)_5$  et

$$\left( \frac{W_u}{W_{cr}} \right)_4 = \left( \frac{W_u}{W_{cr}} \right)_5$$

La relation de continuité entre les stations 4 et 5 donne :

$$\left( \frac{\rho W}{\rho'' W_{cr}} \right)_4 B_4 \cos \beta_4 = \left( \frac{\rho W}{\rho'' W_{cr}} \right)_5 \cos \beta_5 \quad (3-55)$$

$$\text{Où } B_4 = \frac{A_4}{A_5}$$

$$\text{Et } \left( \frac{\rho V}{\rho'' V_{cr}} \right)_5 \cos \beta_5 = \left\{ 1 - \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \left[ \left( \frac{W_x}{W_{cr}} \right)_5^2 + \left( \frac{W_u}{W_{cr}} \right)_4^2 \right] \right\}^{\frac{1}{\gamma - 1}} \left( \frac{W_x}{W_{cr}} \right)_5 \quad (3-56)$$

La géométrie du diagramme des vitesses donne

$$\left( \frac{W}{W_{cr}} \right)_5 = \left[ \left( \frac{W_u}{W_{cr}} \right)_4^2 + \left( \frac{W_x}{W_{cr}} \right)_5^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3-57)$$

## CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ECOULEMENT

$$\beta_5 = \sin^{-1} \frac{\left(\frac{W_u}{W_{cr}}\right)_5}{\left(\frac{W}{W_{cr}}\right)_5} \quad (3-58)$$

Les relations entre les paramètres absolus et relatifs à la sortie du rotor sont donnés par :

$$\left(\frac{T'}{T''}\right)_4 = \left(\frac{T'}{T''}\right)_5 = 1 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1} \left(\frac{W_u}{W_{cr}}\right)_4^2 + \frac{\gamma-1}{\gamma+1} \left(\frac{V_u}{W_{cr}}\right)_4^2 \quad (3-59)$$

$$\text{Où } \left(\frac{V_u}{W_{cr}}\right)_4 = \left(\frac{W_u}{W_{cr}}\right)_4 + \left(\frac{U_4}{V_{cr,3}}\right) \left(\frac{V_{cr}}{W_{cr}}\right)_3 \left(\frac{W_{cr,3}}{W_{cr,4}}\right) \quad (3-60)$$

$$\left(\frac{P'}{P''}\right)_5 = \left(\frac{T'}{T''}\right)_5^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (3-61)$$

$$\left(\frac{V_{cr}}{W_{cr}}\right)_5 = \left(\frac{T'}{T''}\right)_5^{\frac{1}{2}} \quad (3-62)$$

On supposant que  $\left(\frac{V_u}{W_{cr}}\right)_4 = \left(\frac{V_u}{W_{cr}}\right)_5$  et  $\left(\frac{W_x}{W_{cr}}\right)_4 = \left(\frac{V_x}{W_{cr}}\right)_5$ , du triangle des vitesses, on aboutit à:

$$\left(\frac{V_x}{V_{cr}}\right)_5 = \left(\frac{W_x}{W_{cr}}\right)_5 \left(\frac{W_{cr}}{V_{cr}}\right)_5 \quad (3-63)$$

$$\left(\frac{V_u}{V_{cr}}\right)_5 = \left(\frac{V_u}{W_{cr}}\right)_4 \left(\frac{W_{cr}}{V_{cr}}\right)_5 \quad (3-64)$$

$$\left(\frac{V}{V_{cr}}\right)_5 = \left[ \left(\frac{V_x}{V_{cr}}\right)_5^2 \left(\frac{V_u}{V_{cr}}\right)_5^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3-65)$$

$$\alpha_5 = \sin^{-1} \frac{\left(\frac{V_u}{V_{cr}}\right)_5}{\left(\frac{V}{V_{cr}}\right)_5} \quad (3-66)$$

### 3.8 Performance globale de la turbine

Le rapport total de température le long de la turbine est donné par :

## CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ECOULEMENT

$$\frac{T'_5}{T'_0} = 1 - 2 \left( \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \right) \left( \frac{U_3 V_{u,3}}{V_{cr,3}^2} - \frac{U_4 V_{u,4}}{V_{cr,3}^2} \right) \quad (3-67)$$

Où

$$\frac{V_{u,4}}{V_{cr,3}} = \left( \frac{W_u}{W_{cr}} \right)_4 + \left( \frac{W_{cr,4}}{W_{cr,3}} \right) + \left( \frac{W_{cr}}{V_{cr}} \right)_3 + \left( \frac{U_4}{V_{cr,3}} \right) \quad (3-68)$$

Et la vitesse critique de la turbine est :

$$(V_{cr})_5 = V_{cr,0} \sqrt{\frac{T'_5}{T'_0}} \quad (3-69)$$

Le rapport de pression total a la turbine est donné par :

$$\frac{P'_5}{P'_0} = \left( \frac{P'_1}{P'_0} \right) \left( \frac{P''_3}{P'_3} \right) \left( \frac{P''_{4,id}}{P''_3} \right) \left( \frac{P''_4}{P''_{4,id}} \right) \left( \frac{P'}{P''} \right)_5 \quad (3-70)$$

Rapport de la pression total et statique est obtenu par :

$$\left( \frac{P}{P'} \right)_5 = \left[ 1 - \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \left( \frac{V}{V_{cr}} \right)_5^2 \right]^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (3-71)$$

Ce qui donne le rapport de la pression total et statique le long de la turbine :

$$\left( \frac{P_5}{P'_0} \right) = \left( \frac{P'_5}{P'_0} \right) \left( \frac{P}{P'} \right)_5 \quad (3-72)$$

Le coefficient statique de la turbine est obtenu de

$$\eta_t = \frac{1 - \frac{T'_5}{T'_0}}{1 - \left( \frac{P'_5}{P'_0} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}} \quad (3-73)$$

Les équations suivantes définissent les paramètres de performance supplémentaire qui apparaissent dans le fichier output (de sortie).

$$\theta_{cr} = \frac{\frac{\gamma}{\gamma + 1} RT'_0}{\left( \frac{\gamma}{\gamma + 1} RT' \right)^*} \quad (3-74)$$

## CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ECOULEMENT

$$\delta = \frac{P_0'}{P^*} \quad (3-75)$$

$$N_{eq} = \frac{C_1 U_3}{D_3 (\theta_{cr})^{\frac{1}{2}}} \quad (3-76)$$

$$\Delta h'_{eq} = \left( \frac{\gamma-1}{\gamma} \right) \frac{RT_0}{J(\theta_{cr})^{\frac{1}{2}}} \left( 1 - \frac{P_5'}{P_0'} \right) \quad (3-77)$$

$$w_{eq} = \frac{\varepsilon w (\theta_{cr})^{\frac{1}{2}}}{\delta} \quad (3-78)$$

$$\Gamma_{eq} = \frac{c_2 J w \Delta h' \varepsilon}{N \delta} \quad (3-79)$$

$$(wN)_{eq} = \frac{wN\varepsilon}{\delta} \quad (3-80)$$

$$\Delta h'_{id,s} = \left( 1 - \left( 1 - \frac{P_5'}{P_0'} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right) \frac{\gamma}{\gamma-1} RT_0' \quad (3-81)$$

$$\Delta h'_{id,t} = \left( 1 - \left( 1 - \frac{P_5'}{P_0'} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right) \frac{\gamma}{\gamma-1} RT_0' \quad (3-82)$$

$$\left( \frac{P_0'}{P_5'} \right)_{eq} = \left[ 1 - \left( \frac{\gamma-1}{\gamma RT_0'} \right)^* \frac{J \Delta h'_{id,s}}{\theta_{cr}} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (3-83)$$

$$\left( \frac{P_0'}{P_5'} \right)_{eq} = \left[ 1 - \left( \frac{\gamma-1}{\gamma RT_0'} \right)^* \frac{J \Delta h'_{id,t}}{\theta_{cr}} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (3-84)$$

$$\left( \frac{P_5'}{P_0'} \right)_{eq} = \frac{1}{\left( \frac{P_0'}{P_5'} \right)_{eq}} \quad (3-85)$$

$$\Gamma = \Gamma_{eq} \frac{\varepsilon}{\delta} \quad (3-86)$$

$$WF = \frac{g \Delta h'}{U_3^2} \quad (3-87)$$

### CHAPITRE 3: EQUATIONS REGISSANT L'ECOULEMENT

$$WF = \frac{g\Delta h'}{U^2_3} \quad (3-88)$$

$$P = \frac{\Delta h' wJ}{C_3} \quad (3-89)$$

$$\frac{WT}{P} = \frac{w(T'_0)^{\frac{1}{2}}}{P'_0} \quad (3-90)$$

$$\frac{DEL-h}{T} = \frac{\Delta h'}{T'_0} \quad (3-91)$$

$$\frac{N}{T} = \frac{N}{(T'_0)^{\frac{1}{2}}} \quad (3-92)$$

$$\frac{TOR}{P} = \frac{\Gamma}{P'_0} \quad (3-93)$$

$$P'_0 = T'_0 \left( \frac{P'_5}{T'_0} \right) \quad (3-94)$$

$$\rho'_5 = \frac{P'_5}{RT'_5} \quad (3-95)$$

$$\rho_5 = \rho'_5 \left( \frac{P'_5}{P_5} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (3-96)$$

$$N_s = \frac{N \left( \frac{w}{\rho_5} \right)^{\left( \frac{1}{2} \right)}}{(\Delta h'_{id,t})^{0.75}} \quad (3-97)$$

## CHAPITRE 4: Description du programme pour la turbine à flux radiale

Dans ce chapitre, nous explicitons la structure (organigramme) ainsi que les rôles du programme principal et des sous programmes développés.

### 4.1. Informations générales :

Le code RADturbine est écrit en langage Fortran 95. L'entrée des données est assurée par un fichier Input nommé «OFFDESIGN.dat» d'unité 5. Les sorties du codes sont stockées dans un fichier output nommé «TURBINE.OUT» d'unité 6. Ces deux fichiers sont données en annexes A et B.

### 4.2. Programme principal:

Le programme principal nommé «RADTURB.FOR» s'occupe de la lecture des données d'entrée et ordonne l'ouverture du fichier output à créer. Il fait appel à deux sous programmes qui sont :

- **CONTIN:** Utiliser pour déterminer la valeur du rapport de vitesse a la sortie du rotor qui satisfait la relation de continuité sur ce dernier (sortie du rotor)
- **PABC :** Calcule des coefficients A, B et C de la parabole  $y = Ax^2 + Bx + C$  en utilisant trois valeurs pour chaque point x et y qui sont fournis par la subroutine précédente (CONTIN)

### 4.3. Méthode de calcul:

Le code RADIALTURBINE calcul les performances d'une turbine radiale avec deux méthodes distinctes :

- OFF DESIGN MODE.
- DESIGN MODE

Pour le premier mode c à d off-design (turbine déjà existante), les performances de la turbine sont évaluées à partir de la connaissance des grandeurs suivant :

Température, pression, géométrie de la turbine ainsi que le rapport de pression totale du stator  $\frac{P'_1}{P'_0}$  et le coefficient de la perte du rotor  $K$ .

### 4.4. Description de l'input

L'entrée du programme comprend des données physique requise et des indicateurs d'options au format NAME LIST IN ; ces dernières doivent entrer dans le même paquet de données, seul les éléments en cours de modification doivent être saisis.

Les variables d'entrées composants NAME LIST IN sont les suivants :

- $P_0$  : Pression à l'entrée de la turbine (Bar)
- $T_0$  : La température d'entrée (°C)
- $B$  : Sections d'entrée et de sortie de chaque station de la turbine ( $m^2$ )
- $A$  : Rapport de sections d'entrée et de sortie de chaque station de la turbine
- $\alpha_1$  : L'angle entre la vitesse absolue à l'entrée du stator et la ligne méridionale (degré)
- $\beta_4$  : L'angle entre la vitesse relative à la sortie du rotor et la ligne méridionale (degré)
- $U_3$  : Vitesse d'entrée au rotor ( $\frac{m}{s}$ )
- $\frac{U_3}{U_4}$  : Le rapport de vitesse entre l'entrée et la sortie du rotor
- $R$  : La constante des gaz parfaits ( $\frac{J}{kg.k}$ )

## CHAPITRE 4: Description du programme pour la turbine à flux radiale

- $\gamma$  : Le rapport de chaleur spécifique a pression et a volume constant
- $\left(\frac{V}{V_{cr}}\right)_1$  : Rapport de vitesse absolue sur la vitesse critique à la station 1
- $V_{MAX}$  : la vitesse maximale atteinte par le fluide  $\left(\frac{m}{s}\right)$
- $\left(\frac{W}{W_{cr}}\right)_4$  : le rapport de vitesse relative sur la vitesse critique à la station 4
- $D$  : diamètre a la sortie du stator et a la l'entré du rotor (m)
- $w$  : débit massique  $\left(\frac{kg}{s}\right)$
- $K$  : coefficient de perte du rotor

### 4.5. Description de l'output

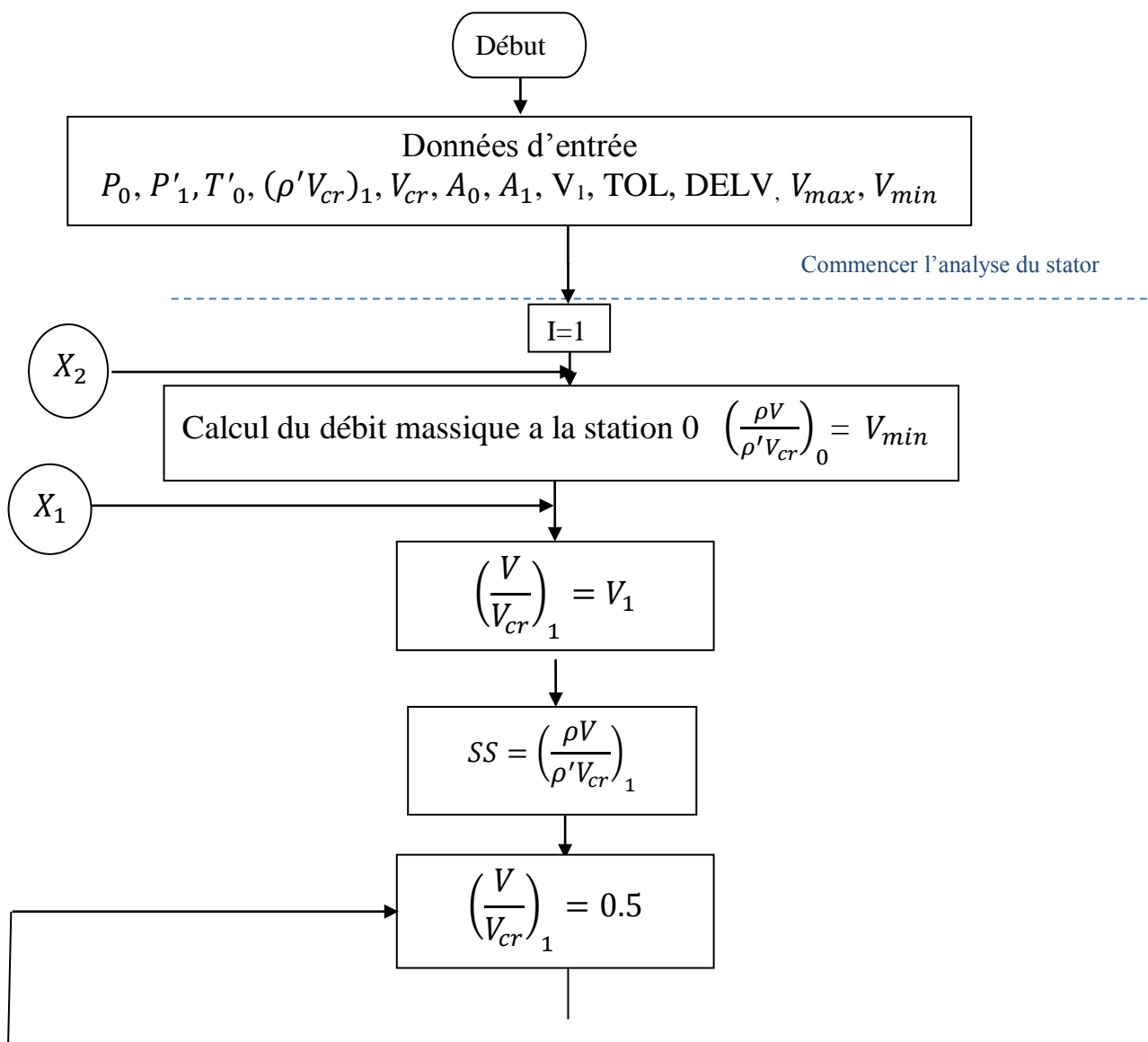
Les grandeurs suivantes sont calculées pour les différentes stations de la turbine.

- $\left(\frac{\rho V}{\rho V_{cr}}\right)$  : débit massique par unité de surface
- $w$  : débit massique  $\left(\frac{kg}{s}\right)$
- $\left(\frac{V_u}{V_{cr}}\right)$  : rapport de vitesse d'entraînement sur la vitesse critique
- $\left(\frac{V_r}{V_{cr}}\right)$  : rapport de vitesse radiale sur la vitesse critique
- $\alpha_1$  : L'angle entre la vitesse absolue à l'entrée du stator et la ligne méridionale (degré)
- $\left(\frac{V}{V_{cr}}\right)$  : rapport de vitesse critique sur la vitesse critique
- $\left(\frac{T''}{T'}\right)$  : rapport de température absolue sur la température relative
- $\frac{P''}{P'}$  : rapport de pression absolue sur la pression relative
- $\left(\frac{W_{cr}}{V_{cr}}\right)$  : rapport de vitesse relative sur la vitesse critique
- $\beta_4$  : L'angle entre la vitesse relative à la sortie du rotor et la ligne méridionale, (degré)
- $\varphi$  : l'angle optimal à l'entré du rotor, (degré)
- $i$  : l'angle d'incidence du rotor, (degré)
- $\frac{P''_{id}}{P''}$  : rapport de pression totale idéale sur la pression totale
- $\eta_t$  : efficacité totale de la turbine
- $\eta_s$  : efficacité statique de la turbine
- $\Delta h'_{id,s}$  : Travail idéal de la turbine basé sur les données statiques,  $\frac{j}{kg}$

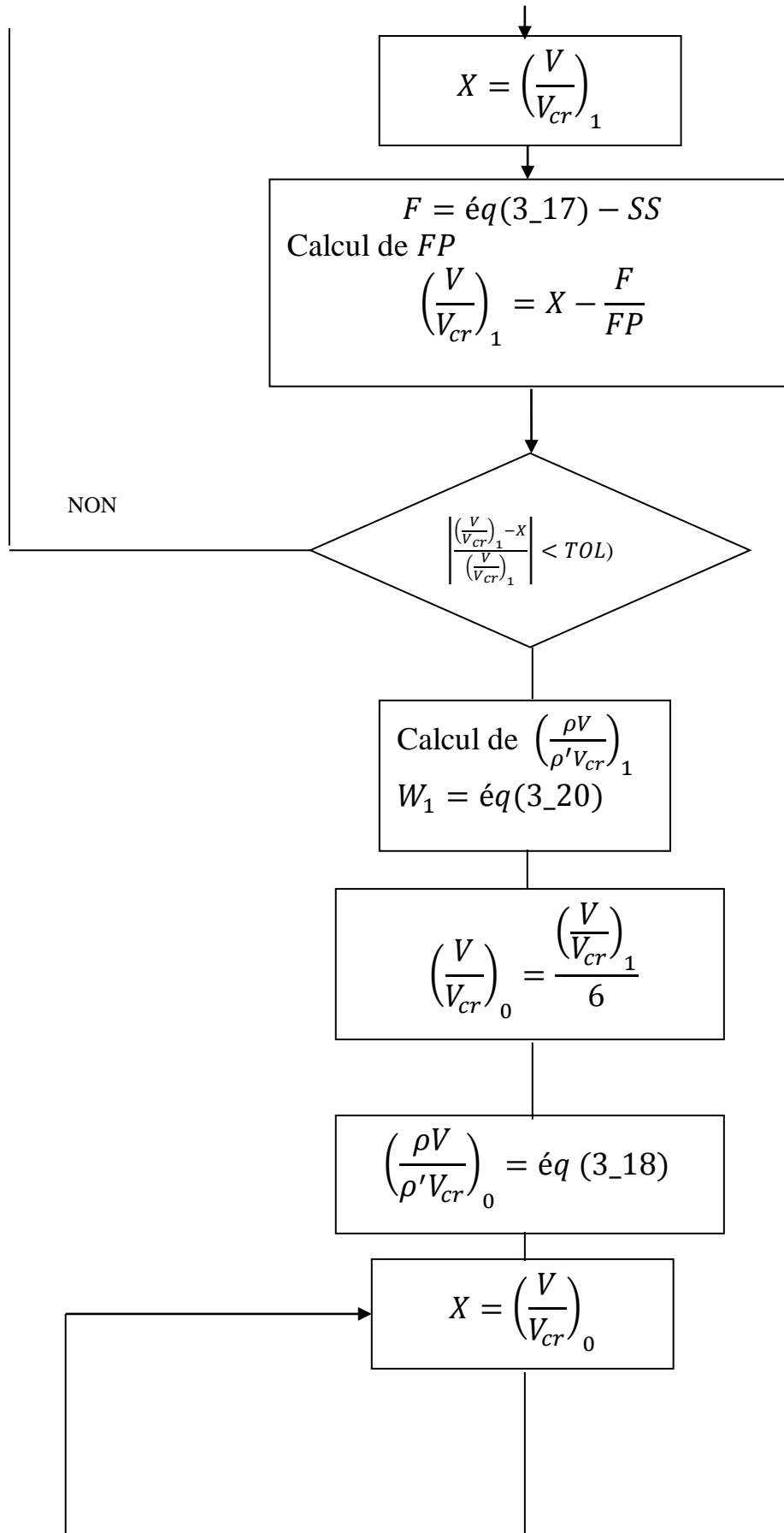
## CHAPITRE 4: Description du programme pour la turbine à flux radiale

- $\Delta h'_{id,t}$  : Travail idéal de la turbine basé sur les données total,  $\frac{j}{kg}$
- $\Gamma$  : Couple,  $\frac{N}{m}$
- $N_s$  : Vitesse spécifique
- $P$  : Puissance,  $KW$
- $\eta_t$  : Efficacité basé sur le rapport entre la pression totale d'entrée et la pression statique de sortie
- $\theta_{cr}$  : Rapport carré de la vitesse critique à l'entrée de la turbine à la vitesse critique à la température standard
- $\delta$  : Rapport entre la pression totale à l'entrée de la turbine et la pression atmosphérique

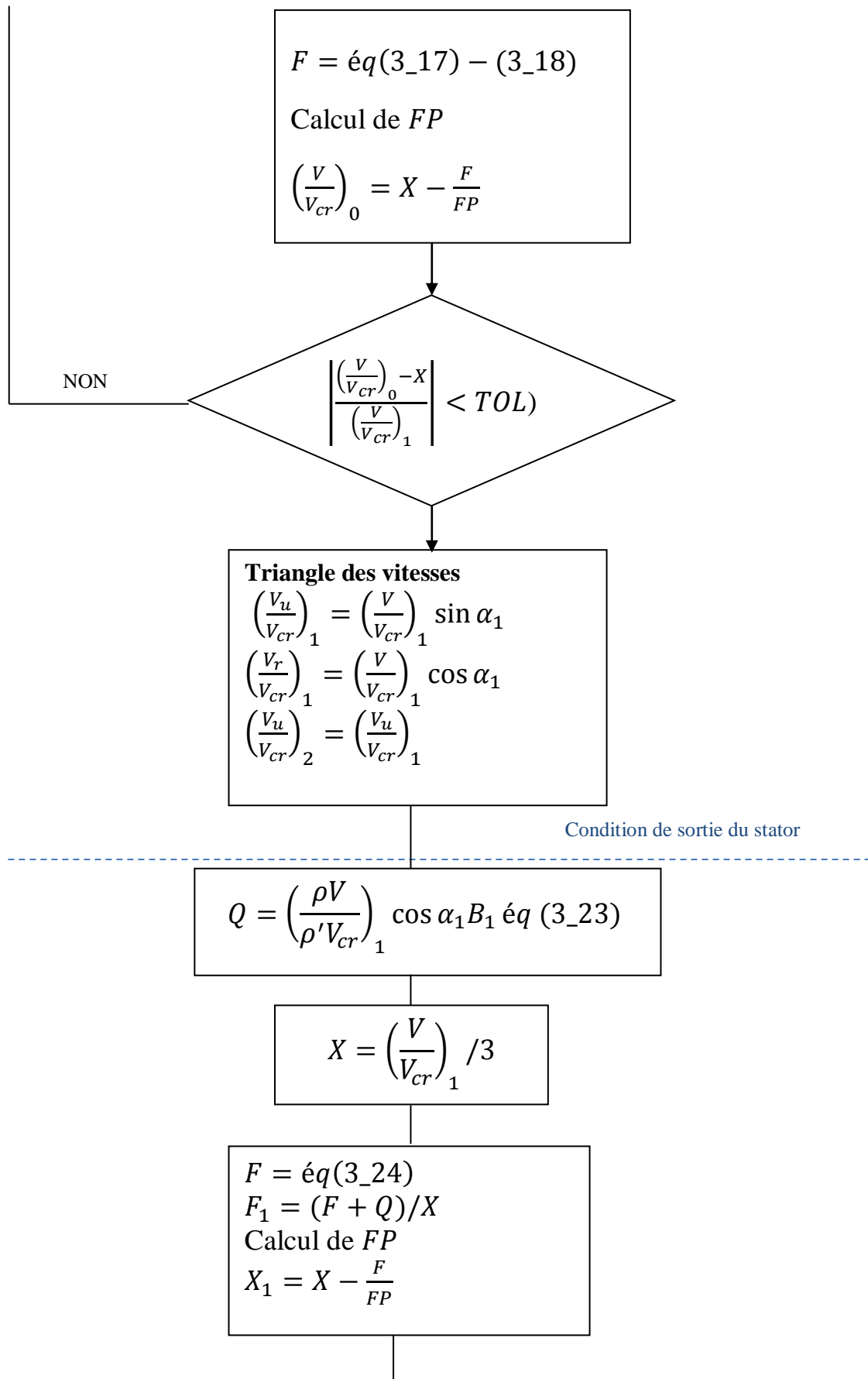
### 4.6. Organigramme



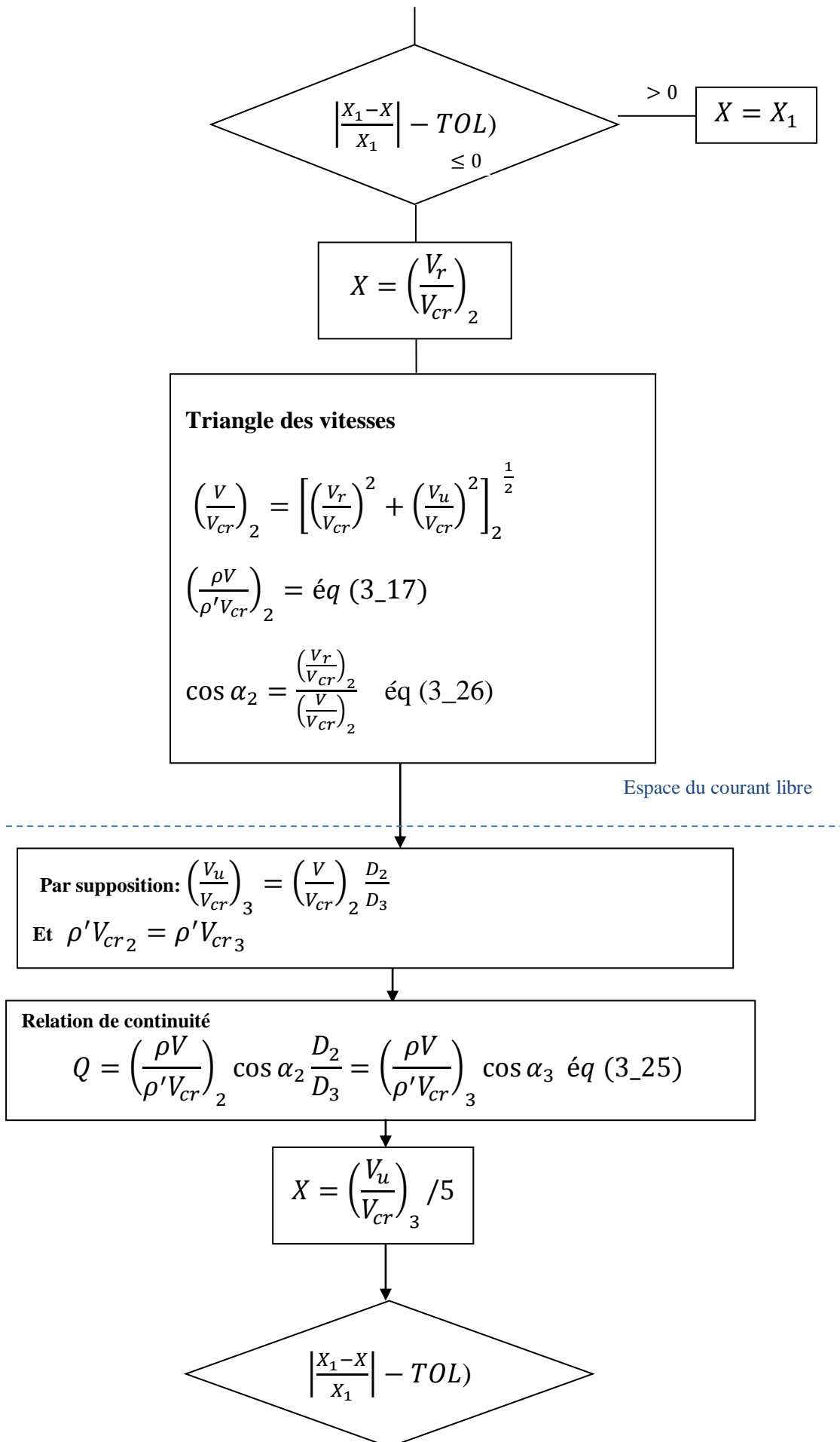
## CHAPITRE 4: Description du programme pour la turbine à flux radiale



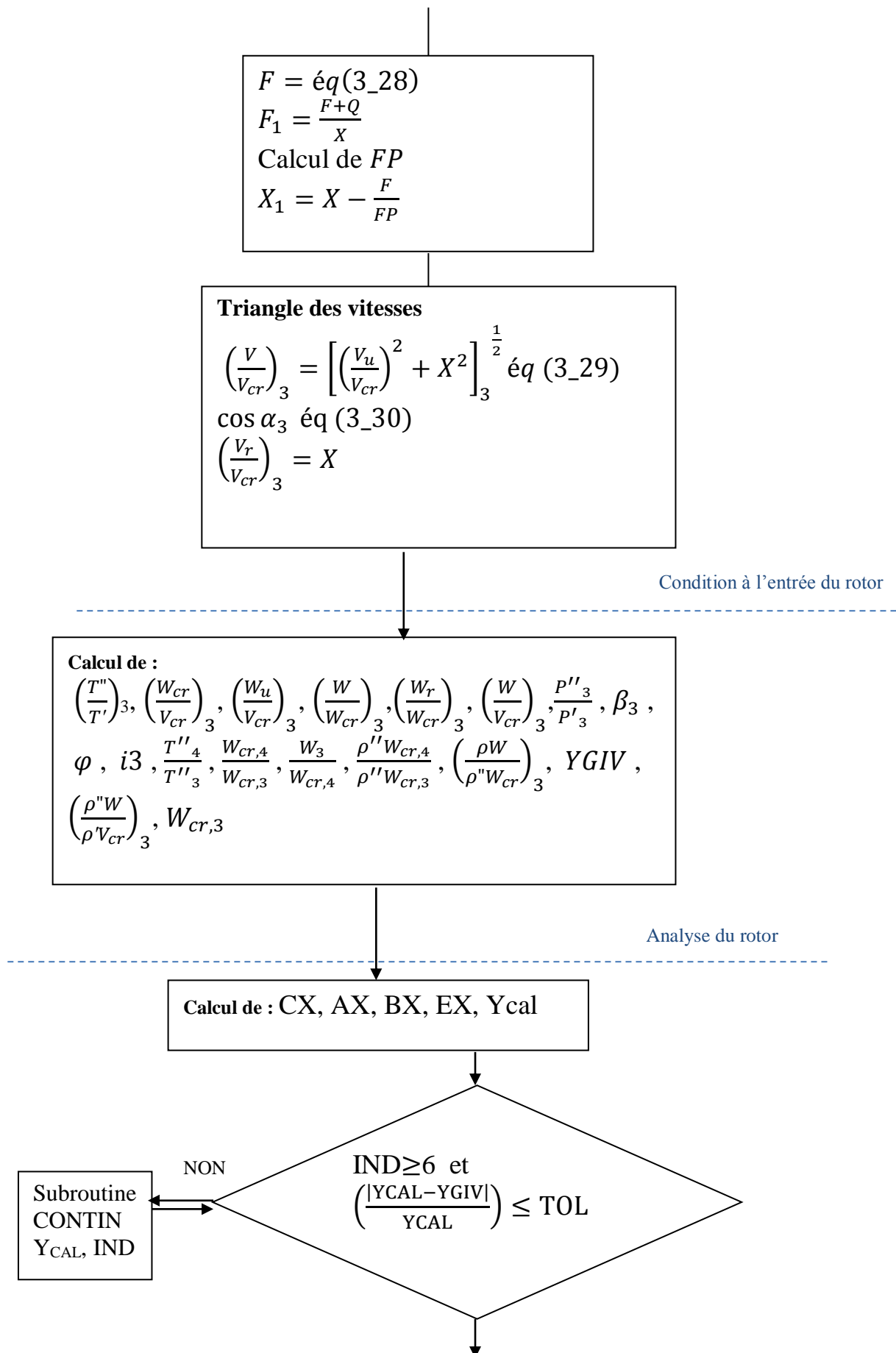
## CHAPITRE 4: Description du programme pour la turbine à flux radiale



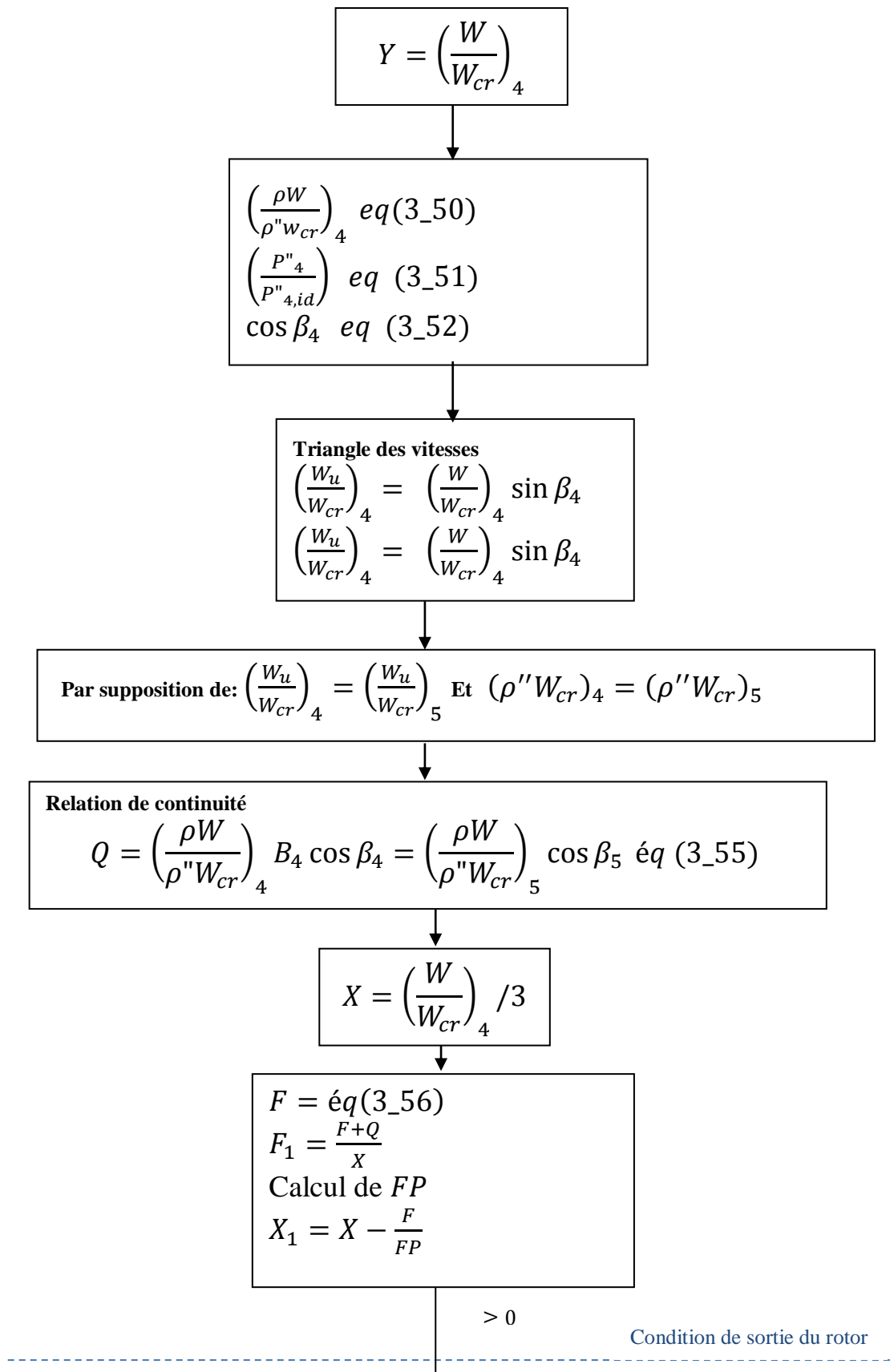
## CHAPITRE 4: Description du programme pour la turbine à flux radiale



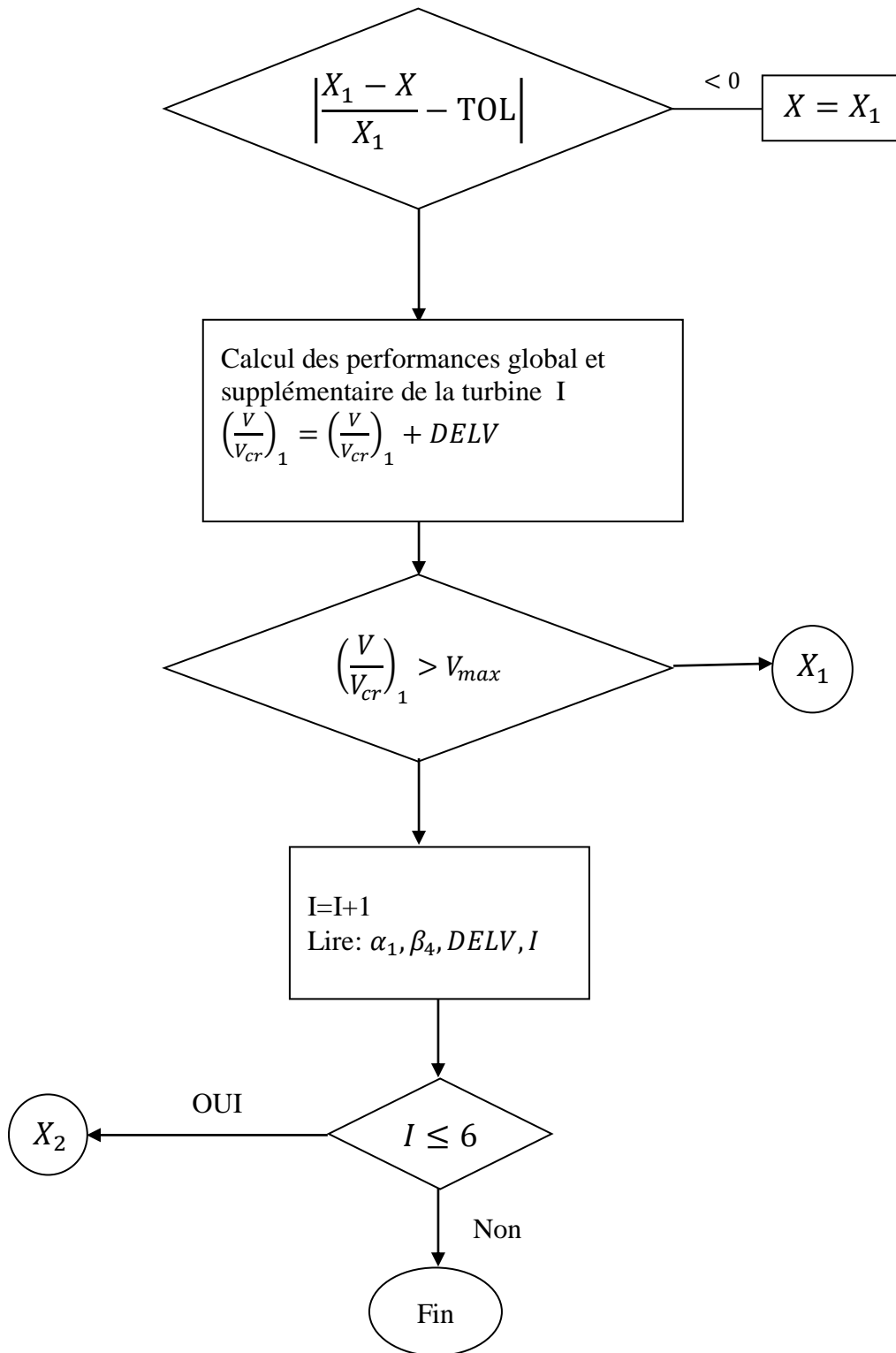
## CHAPITRE 4: Description du programme pour la turbine à flux radiale



## CHAPITRE 4: Description du programme pour la turbine à flux radiale

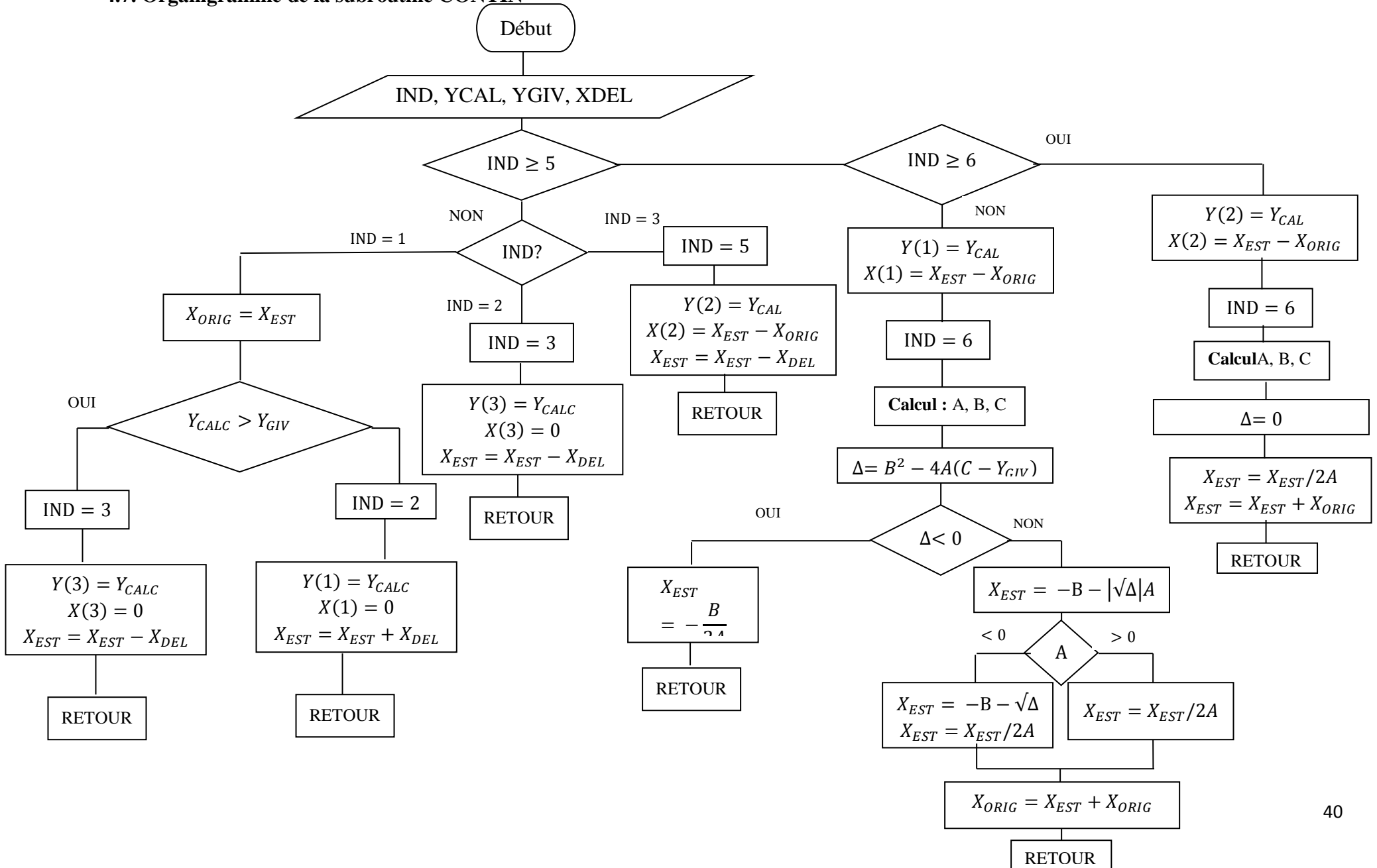


## CHAPITRE 4: Description du programme pour la turbine à flux radiale



# CHAPITRE 4 Description du programme pour la turbine à flux radiale

## 4.7. Organigramme de la subroutine CONTIN



## CHAPITRE 5 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus par le code de calcul élaboré dans le cas d'une turbine à entrée radiale de diamètre de 12.62 cm. Les résultats prédits par le code sont aussi comparés aux résultats expérimentaux fournis dans la littérature [1-2]. Les résultats issus du code sont présentés sous forme de tableaux et de courbes.

Le fichier input fourni dans la référence [1] donnant les caractéristiques de la turbine a été utilisé comme entrée dans le programme élaboré. Le contenu du fichier est présenté ci-après :

```
12.62-CM DIA TURBINE
100 PERCENT SPEED
$IN P0=172368.9D0,T0=1144.44D0,A0=0.0120176D0,A1=0.0038008,A3=0.0039789,A5=0.0044543,
AL1=72.47,B4=-56.86,U3=237.9524,U4U3=0.567765,R=99.1976,G=1.6667,
BL1=0.95168,BL4=0.93718,ZZ=22.,V1=0.30,DELV=0.05,VMAX=0.80,DELY=0.05,YMAX=1.40,
D3=12.6238,D2=12.9997,MODE=0,XK=0.28699,PD=0.98783 $
12.62-CM DIA TURBINE
110 PERCENT SPEED
$IN U3=261.7476 $
12.62-CM DIA TURBINE
90 PERCENT SPEED
$IN U3=214.1572 $
12.62-CM DIA TURBINE
70 PERCENT SPEED
$IN U3=166.5667 $
12.62-CM DIA TURBINE
50 PERCENT SPEED
$IN U3=118.9762 $
12.62-CM DIA TURBINE
30 PERCENT SPEED
$IN U3=71.3857 $
```

Figure 5.1. Contenu du fichier input du mode off-design [1]

Les résultats issus du programme et qui sont stockés dans le fichier output, donné en Annexe B, sont parfaitement identiques à ceux donnés dans la référence [1] dans le cas de l'activation du mode off-design. De là nous déduisons que notre programme pour le mode off-design fonctionne correctement.

### 5.1 Influence du débit massique spécifique :

Sur le tableau (6.1) nous avons porté les valeurs calculées du débit massique spécifique en fonction du rapport de pression  $\left(\frac{P_0}{P_5}\right)$  et du rapport des vitesses  $\left(\frac{V}{V_{cr}}\right)$ . La représentation graphique de ces données est montrée sur la figure (6.1). On remarque sur cette figure que le débit augmente avec le rapport de pression  $\left(\frac{P_0}{P_5}\right)$  d'une manière logarithmique.

## CHAPITRE 5 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau5. 1: débit massique spécifique en fonction du rapport de pression  $\left(\frac{p_0}{P_5}\right)$

		pourcentage de vitesse nominale					
		30%		50%		70%	
		$\left(\frac{p_0}{P_5}\right)$	$wN\varepsilon/\delta$	$\left(\frac{p_0}{P_5}\right)$	$wN\varepsilon/\delta$	$\left(\frac{p_0}{P_5}\right)$	$wN\varepsilon/\delta$
		vitesse					
vitesse	0,3	1,102	18,076	1,131	30,127	1,1716	42,177
	0,35	1,1319	20,826	1,162	34,71	1,2071	48,595
	0,4	1,168	23,457	1,1995	39,095	1,2491	54,733
	0,45	1,2115	25,952	1,2447	43,254	1,2983	60,555
	0,5	1,2636	28,296	1,2991	47,161	1,3557	66,025
	0,55	1,3265	30,475	1,3645	50,791	1,4251	71,108
	0,6	1,403	32,473	1,444	54,121	1,5099	75,77
	0,65	1,4982	34,277	1,5422	57,128	1,615	79,979
	0,7	1,6206	35,874	1,6677	59,789	1,7496	83,705
	0,75	1,7894	37,251	1,8382	62,085	1,9335	86,92
		pourcentage de vitesse nominale					
		90%		100%		110%	
		$\left(\frac{p_0}{P_5}\right)$	$wN\varepsilon/\delta$	$\left(\frac{p_0}{P_5}\right)$	$wN\varepsilon/\delta$	$\left(\frac{p_0}{P_5}\right)$	$wN\varepsilon/\delta$
		vitesse					
vitesse	0,3	1,2235	54,228	1,2531	60,253	1,2847	66,279
	0,35	1,2653	62,479	1,2994	69,421	1,3368	76,363
	0,4	1,3134	70,371	1,3521	78,19	1,3951	86,009
	0,45	1,3699	77,857	1,4132	86,507	1,4622	95,158
	0,5	1,4369	84,889	1,4854	94,322	1,541	103,75
	0,55	1,5168	91,424	1,572	101,58	1,6356	111,74
	0,6	1,6113	97,418	1,6777	108,24	1,7518	119,07
	0,65	1,7283	102,83	1,8068	114,26	1,9	125,68
	0,7	1,8807	107,62	1,9747	119,58	2,0962	131,54
	0,75	2,0962	111,75	2,221	124,17	2,4025	136,59

## CHAPITRE 5 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

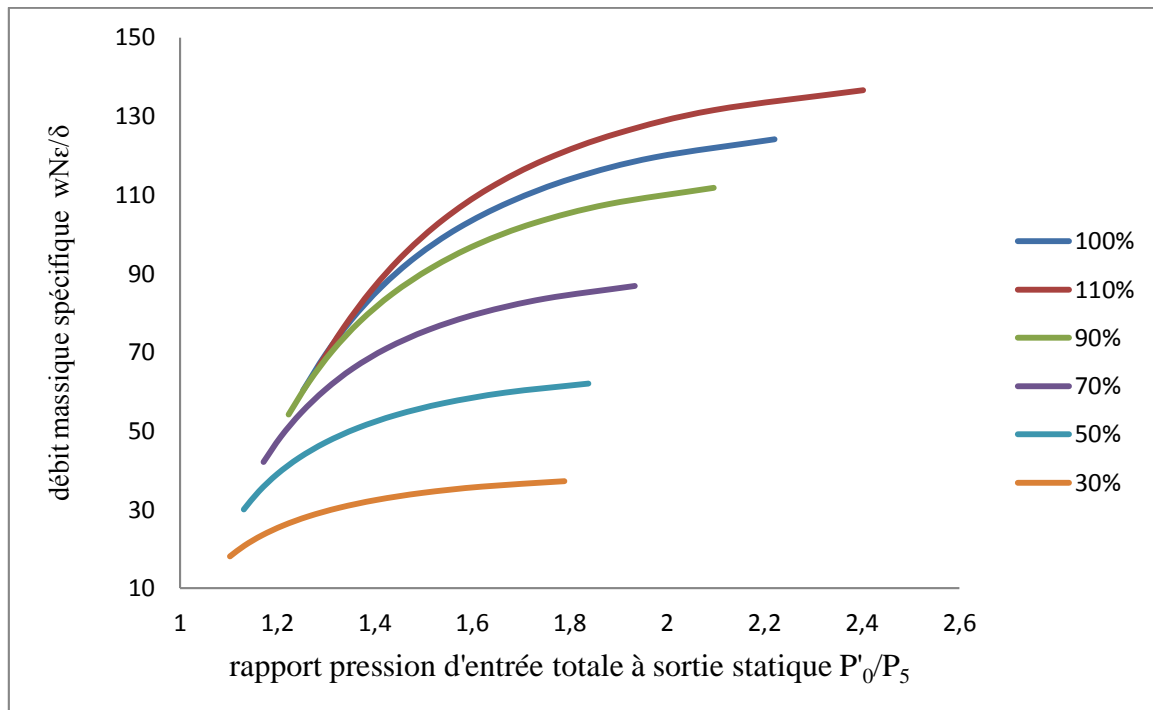


Figure 5.2 : les valeurs calculées du débit massique spécifique en fonction du rapport de pression

Le débit augmente avec le régime de fonctionnement (% de vitesse nominale) de la même manière.

Afin de confronter les résultats de notre programme, nous avons aussi comparé les résultats obtenus avec les résultats expérimentaux donnés dans la référence [1] pour un régime correspondant à 100% de la vitesse nominale. La figure (6.2) montre l'évolution de nos résultats avec ceux donnés dans la littérature pour comparaison.

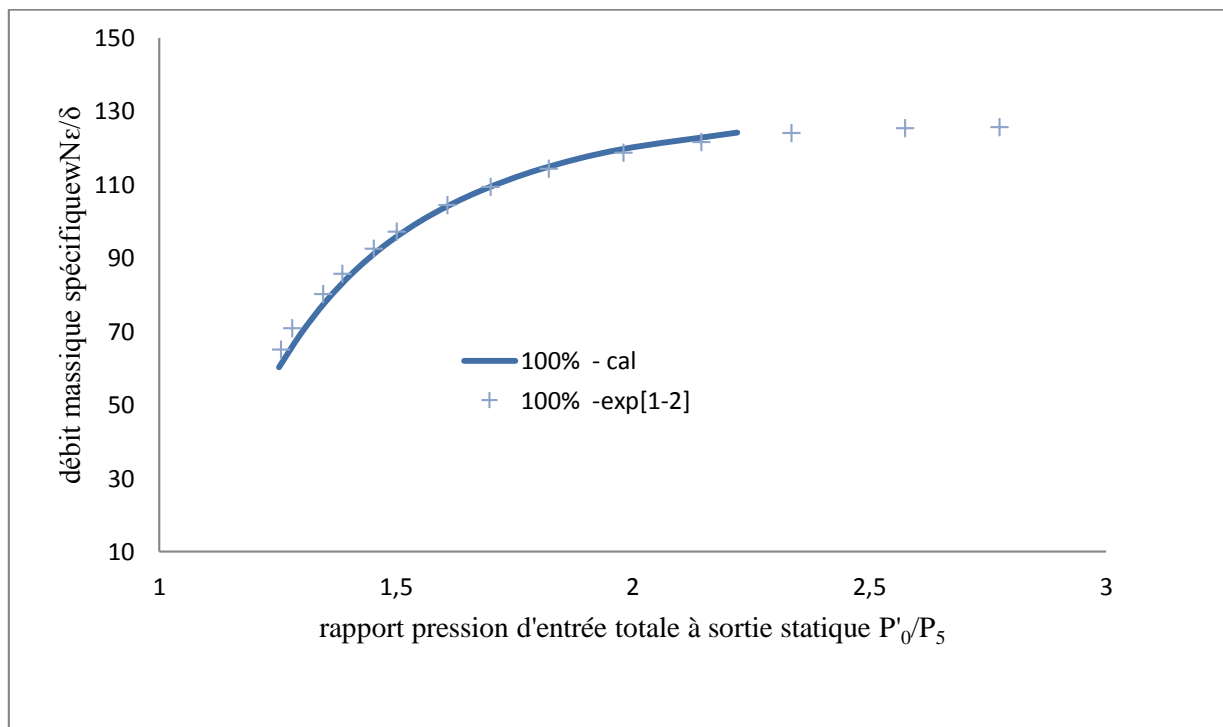


Figure 5.3: comparaison des résultats obtenus avec les résultats expérimentaux

## CHAPITRE 5 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 5.2 Influence du rendement statique :

Sur le tableau (5.2), nous avons porté les valeurs calculées de l'efficacité statique en fonction du rapport de vitesse du jet d'aube et du rapport des vitesses.

Tableau 5.2: efficacité statique en fonction de vitesse du jet d'aube

		pourcentage de vitesse nominale					
		30%		50%		70%	
		$v$	$\eta_s$	$v$	$\eta_s$	$v$	$\eta_s$
vitesse	0,3	0,46759	0,71287	0,69366	0,82046	0,85829	0,76846
	0,35	0,41486	0,67469	0,62923	0,83166	0,78897	0,82606
	0,4	0,37134	0,63229	0,57299	0,82036	0,72744	0,85345
	0,45	0,335	0,59005	0,52364	0,79541	0,67336	0,86182
	0,5	0,30424	0,54977	0,48041	0,7635	0,6255	0,85747
	0,55	0,27781	0,512	0,44233	0,72831	0,5818	0,84188
	0,6	0,25475	0,47666	0,40846	0,6917	0,54167	0,81843
	0,65	0,23424	0,44331	0,37788	0,65442	0,50457	0,78951
	0,7	0,21552	0,41113	0,3497	0,61633	0,46968	0,75606
	0,75	0,19767	0,37853	0,3227	0,57609	0,43563	0,71722
		pourcentage de vitesse nominale					
		90%		100%		110%	
		$v$	$\eta_s$	$v$	$\eta_s$	$v$	$\eta_s$
vitesse	0,3	0,98077	0,65302	1,0322	0,58856	1,0793	0,5237
	0,35	0,91024	0,74716	0,96034	0,69584	1,0054	0,64184
	0,4	0,84781	0,8093	0,89741	0,77125	0,94161	0,72818
	0,45	0,79142	0,84685	0,8407	0,82166	0,88444	0,78946
	0,5	0,73994	0,86558	0,78875	0,85231	0,83207	0,83056
	0,55	0,69281	0,8705	0,74063	0,86731	0,78333	0,85519
	0,6	0,65018	0,86686	0,69563	0,86992	0,73731	0,86615
	0,65	0,61008	0,85424	0,65394	0,8643	0,69299	0,8652
	0,7	0,57115	0,83266	0,6135	0,84943	0,64973	0,85436
	0,75	0,5316	0,80095	0,57114	0,82178	0,60268	0,82811

La représentation graphique de ces données est montrée sur la figure 5.4

## CHAPITRE 5 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

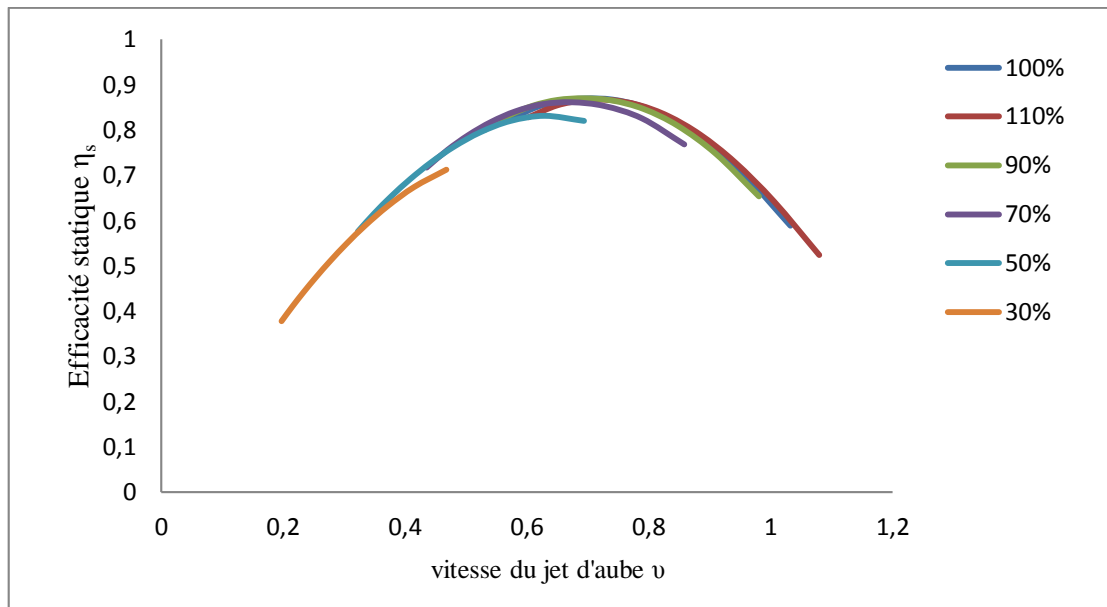


Figure 5.4: évolution de l'efficacité en fonction de la vitesse du jet d'aube

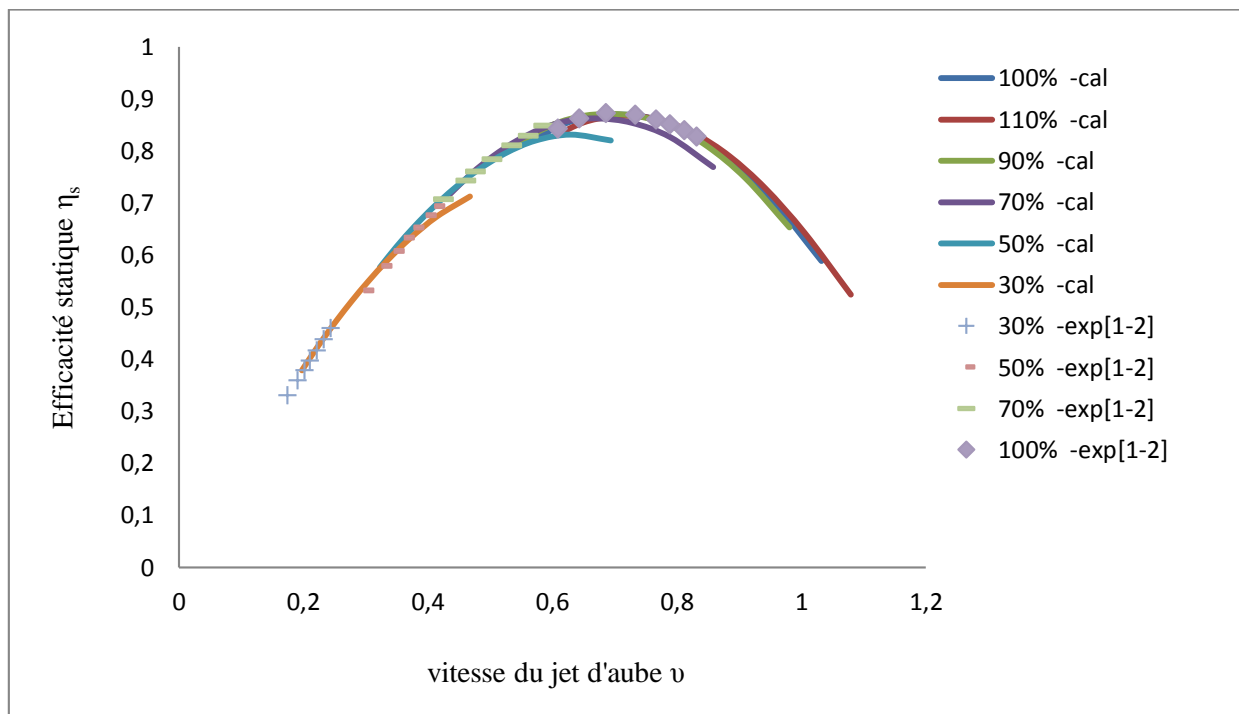


Figure 5.5: comparaison des valeurs calculées du rendement statique par rapport aux résultats expérimentaux

On remarque que l'efficacité croît avec les valeurs des vitesses du jet d'aube et atteint le maximum pour un rapport de  $v$  au environ de 0.7 correspondante au régime de fonctionnement de 100%. Au-delà de ce rapport, l'efficacité décroît.

Sur cette même courbe nous avons représenté les données expérimentales de la référence [1] pour comparaison.

# CHAPITRE 5 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

## 5.3 Influence du rendement total :

Le tableau 5.3 résume les résultats de calcul du code donnant le rendement total en fonction de  $v$  à différente vitesse de fonctionnement.

Tableau 5.3 : Efficacité totale en fonction de vitesse du jet d'aube

		pourcentage de vitesse nominale					
		30%		50%		70%	
		$v$	$\eta_t$	$v$	$\eta_t$	$v$	$\eta_t$
vitesse	0,3	0,46759	0,7454	0,69366	0,85646	0,85829	0,82987
	0,35	0,41486	0,7136	0,62923	0,86505	0,78897	0,87492
	0,4	0,37134	0,67723	0,57299	0,85504	0,72744	0,89462
	0,45	0,335	0,64025	0,52364	0,83368	0,67336	0,89976
	0,5	0,30424	0,60447	0,48041	0,80667	0,6255	0,89561
	0,55	0,27781	0,57061	0,44233	0,7771	0,5818	0,88262
	0,6	0,25475	0,53882	0,40846	0,74657	0,54167	0,86366
	0,65	0,23424	0,50892	0,37788	0,71583	0,50457	0,84092
	0,7	0,21552	0,48046	0,3497	0,68503	0,46968	0,81546
	0,75	0,19767	0,4525	0,3227	0,65358	0,43563	0,78724
		pourcentage de vitesse nominale					
		90%		100%		110%	
		$v$	$\eta_t$	$v$	$\eta_t$	$v$	$\eta_t$
vitesse	0,3	0,98077	0,73865	1,0322	0,68221	1,0793	0,62207
	0,35	0,91024	0,8179	0,96034	0,77576	1,0054	0,72881
	0,4	0,84781	0,86738	0,89741	0,83782	0,94161	0,80206
	0,45	0,79142	0,89577	0,8407	0,87746	0,88444	0,85174
	0,5	0,73994	0,90898	0,78875	0,9006	0,83207	0,88392
	0,55	0,69281	0,9118	0,74063	0,9114	0,78333	0,90275
	0,6	0,65018	0,90921	0,69563	0,91307	0,73731	0,91116
	0,65	0,61008	0,90031	0,65394	0,9098	0,69299	0,91114
	0,7	0,57115	0,88535	0,6135	0,90073	0,64973	0,90549
	0,75	0,5316	0,86437	0,57114	0,88402	0,60268	0,89146

On remarque que l'efficacité croît avec les valeurs des vitesses du jet d'aube et atteint le maximum pour un rapport de  $v$  au environ de 0.7 correspondante au régime de fonctionnement de 100%. Au-delà de ce rapport, l'efficacité décroît.

Sur cette même courbe nous avons représenté les données expérimentales de la référence [1] pour comparaison.

## CHAPITRE 5 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

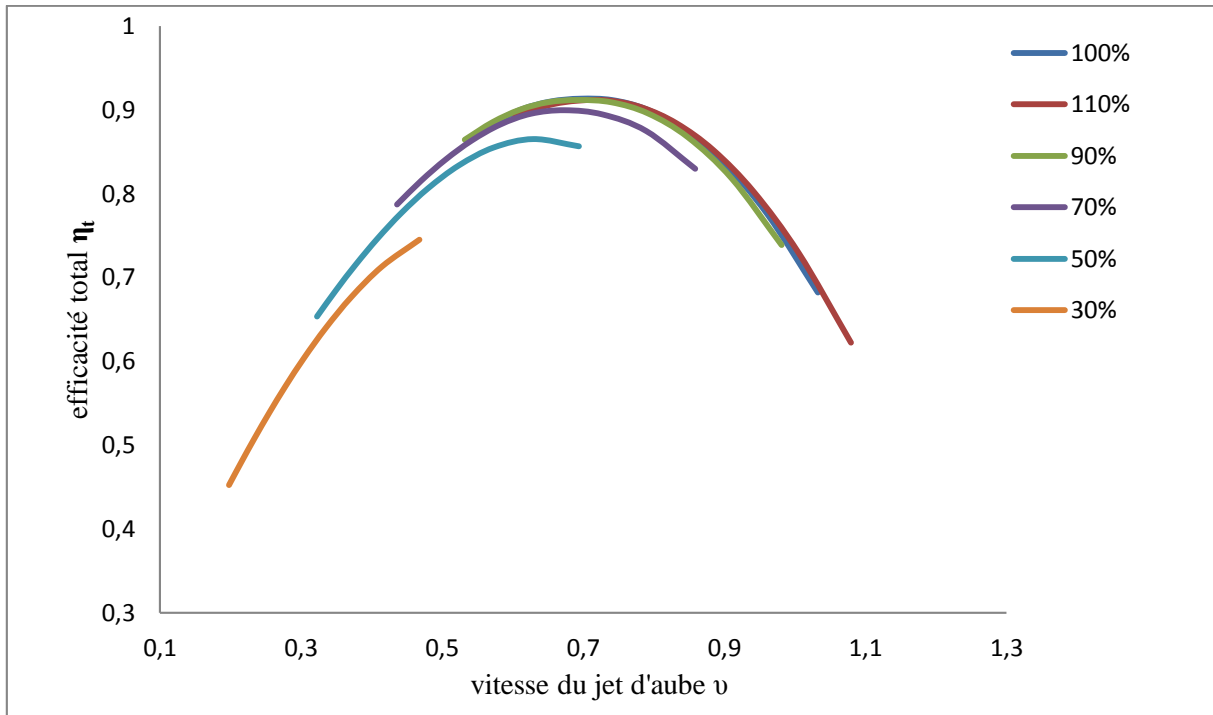


Figure 5.6: évolution des résultats de l'efficacité totale calculée en fonction des vitesses du jet d'aube

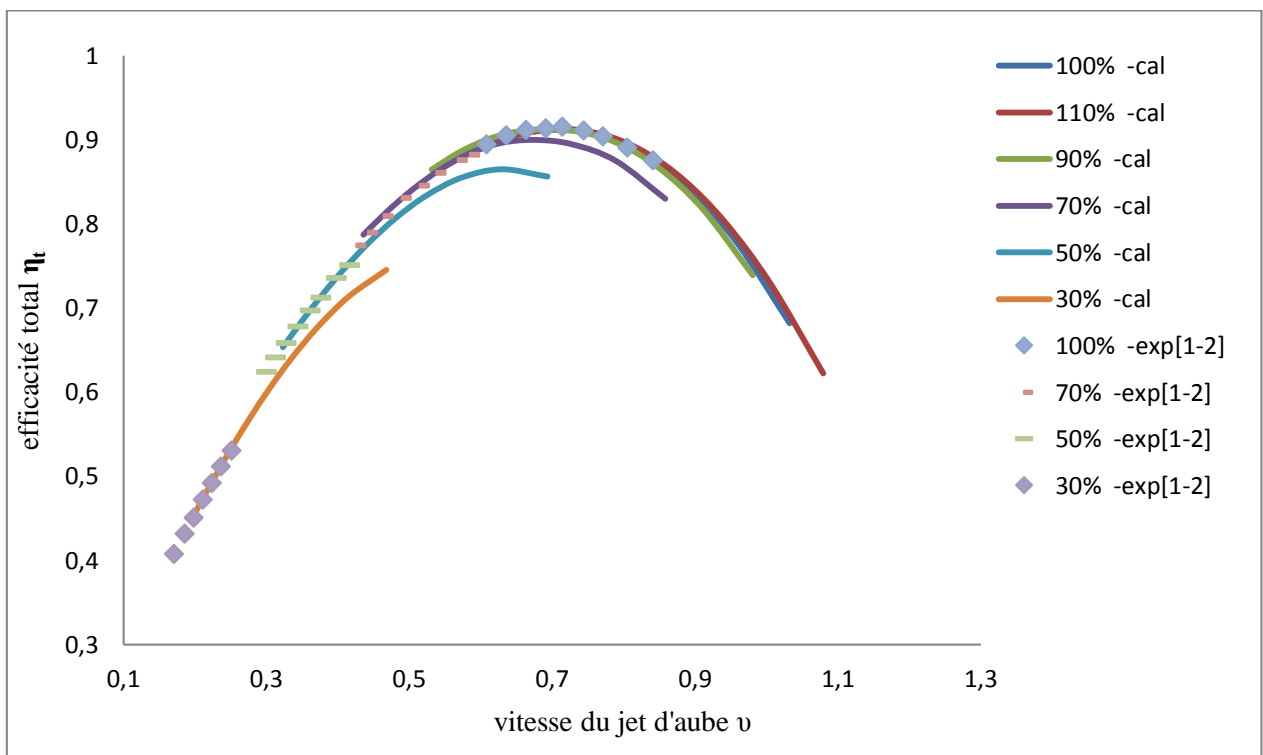


Figure 5.7 : comparaison des résultats calculés et expérimentaux du rendement total

## Conclusion

Pour mener à bien notre travail, il a fallu en premier lieu s'initier aux techniques de programmations en utilisant le langage Fortran.

Le code de calcul des performances de la turbine radiale a été écrit initialement en fortran IV avec plusieurs instructions obsolètes ne fonctionnant pas avec la norme actuelle du langage Fortran. Après avoir corrigé toutes les erreurs, les sorties du code ont été comparées avec celles données dans la référence [1]. Les résultats qui en découlent sont parfaitement identiques dans le cas où le mode off-design est activé.

En perspective, nous recommandons la poursuite de ce travail pour la mise en œuvre et la validation du mode design que l'on peut aussi activer dans le code.

Il est aussi souhaitable d'étendre le domaine d'utilisation du code aux turbines axiales largement utilisées dans le secteur de l'énergie.

## Références

- [1] Charles A. Wasserbauer and Arthur J. Glassman Lewis Research Center: FORTRAN program for predicting off-design performance of radial-inflow turbines. NASA TN D-80, September 1975.
- [2] By Milton G. Kofskey and William J. Nusbaum Lewis Research Center: effect of specific speed on the experimental performances of a radial inflow-turbine. NASA TN D-6182, February 1971.
- [3] S.L. Dixon, B.Eng.Fluid Mechanics Thermodynamics of Turbomachinery. PH.D. Senior Fellow at the University of Liverpool: FOURTH EDITION in SI/METRIC UNITS.
- [4] : <https://www.techno-science.net/definition/5755.html>. Techno-science.net.99 Bis rue Robert Villoing – 78500 Sartrouville : Mise à jour le 06 juin 2004. Accédé le 01/11/2018.
- [5] wikipedia, Turbine. Mise à jour le 16 juin 2014. Accédé le 21/11/2018. Consultable à l'adresse : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbomachine> .
- [6] Comolet, R. 1976. Mécanique expérimentale des fluides, Tome II: Dynamique des fluides réels, Turbomachines. Edition Masson, Paris.
- [7] [http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/claude\\_saintblanquet/synophys/synodex.htm](http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/claude_saintblanquet/synophys/synodex.htm). Synophysique, cours physique et thermodynamique. Nante, Mise à jour le 15 septembre 2013. Accédé le 11/11/2018.
- [8] [http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK Ewi2tTMPqjgAhWK34UKHRjOBlsQFjAAegQIBxAC&url=http%3A%2F%2Fuuu.be%2Fpolytech%2FMECAH301%2FMECAH301\\_cours\\_13a-turbomachines.pdf&usq=AOvVaw15m4if5Ik1Levc0NZ0cUf7](http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK Ewi2tTMPqjgAhWK34UKHRjOBlsQFjAAegQIBxAC&url=http%3A%2F%2Fuuu.be%2Fpolytech%2FMECAH301%2FMECAH301_cours_13a-turbomachines.pdf&usq=AOvVaw15m4if5Ik1Levc0NZ0cUf7) . Cours mécanique, notion sur les turbomachines. Mise à jour le 1 avril 2014. Accédé le 30/11/2018.
- [9] wikipedia, turbomachines. Mise à jour le 27 janvier 2018 à 15:17. Accédé le 25/11/2018 consultable à l'adresse : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbomachine>.
- [10] C. E. Brennen, Hydrodynamics of Pumps: Concepts ETI, Inc. and Oxford University Press, 1994.
- [11] MohamedMseddi, MounirBaccar, HédiKchaou, Mohamed Salah Abid. Mécanique & Industries, February 2002. Accédé le 20/11/2018. Consultable à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296213901011319>.
- [12] Sofien Boualja, Analyse expérimentale et numérique des écoulements à charge partielle dans les turbines Francis de des vortex inter-aubes. Thèse de doctorat : Mécanique des fluides Energétique, Procédés. Université Grenoble Alpes : mars 2018.
- [13] M. Mseddi, M. Baccar et H. Kchaou, banese Science Journal, Vol. 2, No. 2, 2001. Modélisation des turbines radiales de Suralimentation.
- [14] Xavier OTTAVY, CNRS UMR 5509, Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique à l'École Centrale de Lyon, Cours de turbomachine à fluide compressible.

## Références

[15] Heguehoug Karima et Benkara-Mostefa, caractérisation des phénomènes complexes de l'écoulement turbulent tridimensionnel avec transfert de chaleur à travers une série d'aubes, thèse de doctorat en science. Université des frères Mentouri Constantine 1: 2016.

[16] Pablo Fajardo, Methodology for the Numerical Characterization of a Radial Turbine under Steady and Pulsating Flow. Thèse de doctorat, université polytechnique de Valencia (departement de machines moteur thermique) : 2012.

[17] Eduardo Lopez, Study on a radial turbine stage with inlet guide vanes. thèse de doctorat, Stuttgart university , 2013.

[18] Ali Boukhari, Notes de cours de gazodynamique. <https://www.researchgate.net/publication/312587555>. Accédé Janvier 2018.

12.62-CM DIA TURBINE  
100 PERCENT SPEED

\$IN

P0=172368.9D0,T0=1144.44D0,A0=0.0120176D0,A1=0.0038008,A3=0.0039789,A5=0.0044543

,

AL1=72.47,B4=-56.86,U3=237.9524,U4U3=0.567765,R=99.1976,G=1.6667,  
BL1=0.95168,BL4=0.93718,ZZ=22.,V1=0.30,DELV=0.05,VMAX=0.80,DELY=0.05,YMAX=1.40,

D3=12.6238,D2=12.9997,MODE=0,XK=0.28699,PD=0.98783 \$

12.62-CM DIA TURBINE  
110 PERCENT SPEED

\$IN U3=261.7476 \$

12.62-CM DIA TURBINE  
90 PERCENT SPEED

\$IN U3=214.1572 \$

12.62-CM DIA TURBINE  
70 PERCENT SPEED

\$IN U3=166.5667 \$

12.62-CM DIA TURBINE  
50 PERCENT SPEED

\$IN U3=118.9762 \$

12.62-CM DIA TURBINE  
30 PERCENT SPEED

\$IN U3=71.3857 \$

TURBINE.OUT  
 NASA RADIAL INFLOW TURBINE COMPUTER PROGRAM  
 12.62-CM DIA  
 100 PERCENT

GAMMA	1.6667	PO,	0.17237E+06	A1	0.38008E-02	ALPHA-1
72.470	BETA-4	-56.860	PD 0.98783			
R	99.198	T0,	1144.4	A3	0.39789E-02	BL1
0.95168	BL4	0.93718	K 0.28699			
D3	12.624	A0	0.12018E-01	A5	0.44543E-02	U3
237.95	U4/U3	0.56776	ZZ 22.000			

VELOCITIES AND ANGLES

V/VCR)1	0.30000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.30765
W/WCR)4	0.18128	W/WCR)5	0.17793		
VU/VCR)1	0.28607	ALPHA-2	73.273	VU/VCR)3	0.29459
WU/WCR)4	-0.15179	WX/WCR)5	0.92833E-01		
VR/VCR)1	0.90362E-01	ALPHA-3	73.240	VR/VCR)3	0.88714E-01
WX/WCR)4	0.99101E-01	V/VCR)5	0.23649		
V/VCR)0	0.27291E-01	BETA-3	-75.255	W/WCR)3	0.34739
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.21762		
V/VCR)2	0.29871	I-3	-42.602	WU/WCR)3	-0.33595
BETA-5	-58.550	VX/VCR)5	0.92549E-01		
VR/VCR)2	0.85970E-01	VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.88418E-01
VCR)5	366.18	ALPHA-5	66.961		

OVERALL PERFORMANCE

EQ-W	0.12178	EQ-PO,/P5	1.2531	PO,/P5	1.2786	WT/P
	0.36806	W	0.18754			
EQ-DEL-H	10635.	ETA-S	0.58856	NU	1.0322	
DEL-H/T	13.666	DEL-H	15640.			
EQ-N	494.76	ETA-T	0.68221	NS	0.12936E-01	N/T
	17.736	W.F.	0.27622			
EQ-TOR	24.997	EQ-PO,/P5	1.2138	PO,/P5,	1.2344	
TOR/P	270.82	TOR	46.681			
N	600.00	P	2.9331	WN/DEL	60.253	T5
	1081.4	P5	0.13964E+06			

VELOCITIES AND ANGLES

V/VCR)1	0.35000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.35895
W/WCR)4	0.21501	W/WCR)5	0.21102		
VU/VCR)1	0.33375	ALPHA-2	73.275	VU/VCR)3	0.34368
WU/WCR)4	-0.18003	WX/WCR)5	0.11009		
VR/VCR)1	0.10542	ALPHA-3	73.230	VR/VCR)3	0.10357
WX/WCR)4	0.11754	V/VCR)5	0.22218		
V/VCR)0	0.31446E-01	BETA-3	-70.219	W/WCR)3	0.30739
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.19302		
V/VCR)2	0.34849	I-3	-41.457	WU/WCR)3	-0.28926
BETA-5	-58.555	VX/VCR)5	0.11002		
VR/VCR)2	0.10029	VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.10403
VCR)5	362.25	ALPHA-5	60.318		

OVERALL PERFORMANCE

EQ-W	0.14031	EQ-PO,/P5	1.2994	PO,/P5	1.3313	WT/P
	0.42406	W	0.21607			
EQ-DEL-H	14525.	ETA-S	0.69584	NU	0.96034	
DEL-H/T	18.665	DEL-H	21361.			
EQ-N	494.76	ETA-T	0.77576	NS	0.12227E-01	N/T
	17.736	W.F.	0.37725			
EQ-TOR	39.334	EQ-PO,/P5	1.2637	PO,/P5,	1.2906	
TOR/P	426.15	TOR	73.456			
N	600.00	P	4.6154	WN/DEL	69.421	T5
	1058.3	P5	0.13355E+06			

VELOCITIES AND ANGLES

V/VCR)1	0.40000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.41026
W/WCR)4	0.25009	W/WCR)5	0.24544		
VU/VCR)1	0.38142	ALPHA-2	73.277	VU/VCR)3	0.39278
WU/WCR)4	-0.20941	WX/WCR)5	0.12802		
VR/VCR)1	0.12048	ALPHA-3	73.217	VR/VCR)3	0.11846
WX/WCR)4	0.13672	V/VCR)5	0.21080		
V/VCR)0	0.35422E-01	BETA-3	-63.624	W/WCR)3	0.26994

		TURBINE.OUT			
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.16727	WU/WCR)3	-0.24184
V/VCR)2	0.39827	I-3	-37.987		
BETA-5	-58.561	VX/VCR)5	0.12827	WR/WCR)3	0.11993
VR/VCR)2	0.11460	VCR)3	376.71		
VCR)5	358.26	AL PHA-5 ,	52.517		
EQ-W	0.15803	EQ-PO,/P5	1.3521	OVERALL PERFORMANCE	
	0.47763		0.24336	PO, /P5	1.3918 WT/P
EQ-DEL-H	18436.	ETA-S	0.77125	NU	0.89741
DEL-H/T	23.690	DEL-H	27112.	NS	0.11633E-01 N/T
EQ-N	494.76	ETA-T	0.83782		
	17.736		0.47883	PO,/P5,	1.3534
EQ-TOR	56.232	EQ-PO,/P5	1.3188	WN/DEL	78.190 T5
TOR/P	609.22	TOR	105.01		
N	600.00	P	6.5981		
	1035.1		0.12736E+06		

				VELOCITIES AND ANGLES	
V/VCR)1	0.45000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.46157
W/WCR)4	0.28701	W/WCR)5	0.28165	VU/VCR)3	0.44188
VU/VCR)1	0.42910	ALPHA-2	73.280	VR/VCR)3	0.13339
WU/WCR)4	-0.24032	WX/WCR)5	0.14687	W/WCR)3	0.23673
VR/VCR)1	0.13554	ALPHA-3	73.203	WU/WCR)3	-0.19368
WX/WCR)4	0.15690	V/VCR)5	0.20339	WR/WCR)3	0.13613
V/VCR)0	0.39194E-01	BETA-3	-54.899		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.13995		
V/VCR)2	0.44805	I-3	-31.815		
BETA-5	-58.568	VX/VCR)5	0.14758		
VR/VCR)2	0.12890	VCR)3	376.71		
VCR)5	354.19	AL PHA-5 ,	43.480		

				OVERALL PERFORMANCE	
EQ-W	0.17485	EQ-PO,/P5	1.4132	PO, /P5	1.4628 WT/P
	0.52844		0.26925	NU	0.84070
EQ-DEL-H	22380.	ETA-S	0.82166	NS	0.11106E-01 N/T
DEL-H/T	28.758	DEL-H	32912.	PO,/P5,	1.4253
EQ-N	494.76	ETA-T	0.87746	WN/DEL	86.507 T5
	17.736		0.58127		
EQ-TOR	75.523	EQ-PO,/P5	1.3810		
TOR/P	818.23	TOR	141.04		
N	600.00	P	8.8617		
	1011.7		0.12094E+06		

				VELOCITIES AND ANGLES	
V/VCR)1	0.50000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.51290
W/WCR)4	0.32641	W/WCR)5	0.32029	VU/VCR)3	0.49098
VU/VCR)1	0.47678	ALPHA-2	73.282	VR/VCR)3	0.14837
WU/WCR)4	-0.27332	WX/WCR)5	0.16698	W/WCR)3	0.21037
VR/VCR)1	0.15060	ALPHA-3	73.186	WU/WCR)3	-0.14475
WX/WCR)4	0.17844	V/VCR)5	0.20133	WR/WCR)3	0.15265
V/VCR)0	0.42739E-01	BETA-3	-43.478		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.11050		
V/VCR)2	0.49782	I-3	-22.513		
BETA-5	-58.578	VX/VCR)5	0.16830		
VR/VCR)2	0.14320	VCR)3	376.71		
VCR)5	350.02	AL PHA-5 ,	33.286		

				OVERALL PERFORMANCE	
EQ-W	0.19064	EQ-PO,/P5	1.4854	PO, /P5	1.5479 WT/P
	0.57617		0.29357	NU	0.78875
EQ-DEL-H	26373.	ETA-S	0.85231	NS	0.10629E-01 N/T
DEL-H/T	33.890	DEL-H	38785.	PO,/P5,	1.5090
EQ-N	494.76	ETA-T	0.90060	WN/DEL	94.322 T5
	17.736		0.68499		
EQ-TOR	97.039	EQ-PO,/P5	1.4525		
TOR/P	1051.3	TOR	181.22		
N	600.00	P	11.386		
	988.04		0.11423E+06		

VELOCITIES AND ANGLES

TURBINE.OUT

V/VCR)1	0.55000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.56425
W/WCR)4	0.36921	W/WCR)5	0.36224	VU/VCR)3	0.54007
VU/VCR)1	0.52446	ALPHA-2	73.286	VR/VCR)3	0.16340
WU/WCR)4	-0.30915	WX/WCR)5	0.18879	W/WCR)3	0.19433
VR/VCR)1	0.16566	ALPHA-3	73.166	WU/WCR)3	-0.95016E-01
WX/WCR)4	0.20184	V/VCR)5	0.20630	WR/WCR)3	0.16952
V/VCR)0	0.46034E-01	BETA-3	-29.271		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.78099E-01		
V/VCR)2	0.54759	I-3	-10.088		
BETA-5	-58.589	VX/VCR)5	0.19094		
VR/VCR)2	0.15749	VCR)3	376.71		
VCR)5	345.72	ALPHA-5	22.246		

OVERALL PERFORMANCE

EQ-W	0.20532	EQ-PO,/P5	1.5720	PO,/P5	1.6517	WT/P
	0.62053		0.31617			
EQ-DEL-H	30438.	ETA-S	0.86731	NU	0.74063	
DEL-H/T	39.114	DEL-H	44764.			
EQ-N	494.76	ETA-T	0.91140	NS	0.10196E-01	N/T
	17.736		0.79058			
EQ-TOR	120.62	EQ-PO,/P5	1.5358	PO,/P5,	1.6081	
TOR/P	1306.8	TOR	225.25			
N	600.00	P	14.153	WN/DEL	101.58	T5
	963.93		0.10719E+06			

VELOCITIES AND ANGLES

V/VCR)1	0.60000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.61562
W/WCR)4	0.41671	W/WCR)5	0.40878	VU/VCR)3	0.58917
VU/VCR)1	0.57214	ALPHA-2	73.289	VR/VCR)3	0.17851
WU/WCR)4	-0.34893	WX/WCR)5	0.21295	W/WCR)3	0.19197
VR/VCR)1	0.18072	ALPHA-3	73.144	WU/WCR)3	-0.44454E-01
WX/WCR)4	0.22781	V/VCR)5	0.22019	WR/WCR)3	0.18675
V/VCR)0	0.49058E-01	BETA-3	-13.390		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.41601E-01		
V/VCR)2	0.59736	I-3	4.2757		
BETA-5	-58.604	VX/VCR)5	0.21622		
VR/VCR)2	0.17177	VCR)3	376.71		
VCR)5	341.26	ALPHA-5	10.891		

OVERALL PERFORMANCE

EQ-W	0.21878	EQ-PO,/P5	1.6777	PO,/P5	1.7809	WT/P
	0.66121		0.33690			
EQ-DEL-H	34607.	ETA-S	0.86992	NU	0.69563	
DEL-H/T	44.471	DEL-H	50894.			
EQ-N	494.76	ETA-T	0.91307	NS	0.98034E-02	N/T
	17.736		0.89886			
EQ-TOR	146.13	EQ-PO,/P5	1.6342	PO,/P5,	1.7274	
TOR/P	1583.2	TOR	272.89			
N	600.00	P	17.146	WN/DEL	108.24	T5
	939.21		99784.			

VELOCITIES AND ANGLES

V/VCR)1	0.65000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.66701
W/WCR)4	0.47010	W/WCR)5	0.46106	VU/VCR)3	0.63827
VU/VCR)1	0.61981	ALPHA-2	73.293	VR/VCR)3	0.19369
WU/WCR)4	-0.39364	WX/WCR)5	0.24005	W/WCR)3	0.20449
VR/VCR)1	0.19578	ALPHA-3	73.119	WU/WCR)3	0.69699E-02
WX/WCR)4	0.25700	V/VCR)5	0.24484	WR/WCR)3	0.20437
V/VCR)0	0.51788E-01	BETA-3	1.9533		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.11580E-03		
V/VCR)2	0.64713	I-3	18.311		
BETA-5	-58.624	VX/VCR)5	0.24484		
VR/VCR)2	0.18603	VCR)3	376.71		
VCR)5	336.60	ALPHA-5	-0.27098E-01		

OVERALL PERFORMANCE

EQ-W	0.23093	EQ-PO,/P5	1.8068	PO,/P5	1.9426	WT/P
	0.69794		0.35562			
EQ-DEL-H	38908.	ETA-S	0.86430	NU	0.65394	
DEL-H/T	49.997	DEL-H	57219.			
EQ-N	494.76	ETA-T	0.90980	NS	0.94637E-02	N/T

			TURBINE.OUT			
	17.736	W.F.	1.0106			
EQ-TOR	173.41		EQ-PO,/P5	1.7498	PO,/P5,	1.8706
TOR/P	1878.8		TOR	323.85		
N	600.00		P	20.348	WN/DEL	114.26 T5
	913.71	P5		92145.		

					VELOCITIES AND ANGLES	
V/VCR)1	0.70000	ALPHA-1	72.470		V/VCR)3	0.71843
W/WCR)4	0.53361	W/WCR)5	0.52318		VU/VCR)3	0.68737
VU/VCR)1	0.66749	ALPHA-2	73.298		VR/VCR)3	0.20896
WU/WCR)4	-0.44681	WX/WCR)5	0.27218		W/WCR)3	0.23018
VR/VCR)1	0.21084	ALPHA-3	73.091		WU/WCR)3	0.59290E-01
WX/WCR)4	0.29172	V/VCR)5	0.28373		WR/WCR)3	0.22242
V/VCR)0	0.54206E-01	BETA-3	14.927			
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.50830E-01			
V/VCR)2	0.69689	I-3	30.146			
BETA-5	-58.652	VX/VCR)5	0.27914			
VR/VCR)2	0.20028	VCR)3	376.71			
VCR)5	331.60	ALPHA-5	-10.320			

					OVERALL PERFORMANCE	
EQ-W	0.24169	EQ-PO,/P5	1.9747		PO, /P5	2.1593 WT/P
	0.73046	W	0.37218			
EQ-DEL-H	43445.	ETA-S	0.84943		NU	0.61350
DEL-H/T	55.828	DEL-H	63892.		NS	0.91643E-02 N/T
EQ-N	494.76	ETA-T	0.90073			
	17.736	W.F.	1.1284			
EQ-TOR	202.66	EQ-PO,/P5	1.8925		PO,/P5,	2.0523
TOR/P	2195.7	TOR	378.46		WN/DEL	119.58 T5
N	600.00	P	23.779			
	886.80	P5	83988.			

					VELOCITIES AND ANGLES	
V/VCR)1	0.75000	ALPHA-1	72.470		V/VCR)3	0.76988
W/WCR)4	0.61824	W/WCR)5	0.60587		VU/VCR)3	0.73647
VU/VCR)1	0.71517	ALPHA-2	73.303		VR/VCR)3	0.22434
WU/WCR)4	-0.51768	WX/WCR)5	0.31477		W/WCR)3	0.26590
VR/VCR)1	0.22590	ALPHA-3	73.058		WU/WCR)3	0.11254
WX/WCR)4	0.33799	V/VCR)5	0.34689		WR/WCR)3	0.24091
V/VCR)0	0.56293E-01	BETA-3	25.040			
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.12049			
V/VCR)2	0.74665	I-3	39.260			
BETA-5	-58.698	VX/VCR)5	0.32529			
VR/VCR)2	0.21452	VCR)3	376.71			
VCR)5	325.95	ALPHA-5	-20.326			

					OVERALL PERFORMANCE	
EQ-W	0.25097	EQ-PO,/P5	2.2210		PO, /P5	2.4905 WT/P
	0.75851	W	0.38648			
EQ-DEL-H	48497.	ETA-S	0.82178		NU	0.57114
DEL-H/T	62.320	DEL-H	71322.		NS	0.89054E-02 N/T
EQ-N	494.76	ETA-T	0.88402			
	17.736	W.F.	1.2596			
EQ-TOR	234.91	EQ-PO,/P5	2.0863		PO,/P5,	2.3074
TOR/P	2545.1	TOR	438.70		WN/DEL	124.17 T5
N	600.00	P	27.564			
	856.84	P5	74703.			

NASA RADIAL INFLOW TURBINE COMPUTER PROGRAM

12.62-CM DIA  
110 PERCENT

GAMMA	1.6667	PO,	0.17237E+06	A1	0.38008E-02	ALPHA-1
72.470	BETA-4	-56.860	PD	0.98783		
R	99.198	TO,	1144.4	A3	0.39789E-02	BL1
0.95168	BL4	0.93718	K	0.28699		
D3	12.624	A0	0.12018E-01	A5	0.44543E-02	U3
261.75	U4/U3	0.56776	ZZ	22.000		

					VELOCITIES AND ANGLES	
V/VCR)1	0.30000	ALPHA-1	72.470		V/VCR)3	0.30765
W/WCR)4	0.18604	W/WCR)5	0.18260			

TURBINE.OUT

VU/VCR)1	0.28607	ALPHA-2	73.273	VU/VCR)3	0.29459
WU/WCR)4	-0.15578	WX/WCR)5	0.95271E-01	VR/VCR)3	0.88714E-01
VR/VCR)1	0.90362E-01	ALPHA-3	73.240	W/WCR)3	0.40625
WX/WCR)4	0.10171	V/VCR)5	0.26797	WU/WCR)3	-0.39662
V/VCR)0	0.27291E-01	BETA-3	-77.502	WR/WCR)3	0.87911E-01
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.25064		
V/VCR)2	0.29871	I-3	-42.322		
BETA-5	-58.551	VX/VCR)5	0.94808E-01		
VR/VCR)2	0.85970E-01	VCR)3	376.71		
VCR)5	366.34	ALPHA-5	69.280		
				OVERALL PERFORMANCE	
EQ-W	0.12178	EQ-PO,/P5	1.2847	PO, /P5	1.3145 WT/P
	0.36806 W		0.18754		
EQ-DEL-H	10473.	ETA-S	0.52370	NU	1.0793
DEL-H/T	13.458	DEL-H	15401.		
EQ-N	544.24	ETA-T	0.62207	NS	0.13598E-01 N/T
	19.510 W.F.		0.22480		
EQ-TOR	22.378	EQ-PO,/P5	1.2333	PO,/P5,	1.2563
TOR/P	242.44	TOR	41.790		
N	660.00	P	2.8883	WN/DEL	66.279 T5
	1082.3 P5		0.13720E+06		

OVERALL PERFORMANCE	
PO, /P5	1.3145 WT/P
NU	1.0793
NS	0.13598E-01 N/T
PO,/P5,	1.2563
WN/DEL	66.279 T5

VELOCITIES AND ANGLES

V/VCR)1	0.35000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.35895
W/WCR)4	0.22130	W/WCR)5	0.21720	VU/VCR)3	0.34368
VU/VCR)1	0.33375	ALPHA-2	73.275	VR/VCR)3	0.10357
WU/WCR)4	-0.18530	WX/WCR)5	0.11330	W/WCR)3	0.36587
VR/VCR)1	0.10542	ALPHA-3	73.230	WU/WCR)3	-0.35092
WX/WCR)4	0.12098	V/VCR)5	0.25238	WR/WCR)3	0.10350
V/VCR)0	0.31446E-01	BETA-3	-73.567		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.22563		
V/VCR)2	0.34849	I-3	-42.443		
BETA-5	-58.556	VX/VCR)5	0.11307		
VR/VCR)2	0.10029	VCR)3	376.71		
VCR)5	361.98	ALPHA-5	63.384		
				OVERALL PERFORMANCE	
EQ-W	0.14031	EQ-PO,/P5	1.3368	PO, /P5	1.3742 WT/P
	0.42406 W		0.21607		
EQ-DEL-H	14790.	ETA-S	0.64184	NU	1.0054
DEL-H/T	19.005	DEL-H	21750.		
EQ-N	544.24	ETA-T	0.72881	NS	0.12832E-01 N/T
	19.510 W.F.		0.31747		
EQ-TOR	36.411	EQ-PO,/P5	1.2897	PO,/P5,	1.3202
TOR/P	394.48	TOR	67.996		
N	660.00	P	4.6996	WN/DEL	76.363 T5
	1056.7 P5		0.13057E+06		

OVERALL PERFORMANCE	
PO, /P5	1.3742 WT/P
NU	1.0054
NS	0.12832E-01 N/T
PO,/P5,	1.3202
WN/DEL	76.363 T5

VELOCITIES AND ANGLES

V/VCR)1	0.40000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.41026
W/WCR)4	0.25802	W/WCR)5	0.25322	VU/VCR)3	0.39278
VU/VCR)1	0.38142	ALPHA-2	73.277	VR/VCR)3	0.11846
WU/WCR)4	-0.21605	WX/WCR)5	0.13207	W/WCR)3	0.32704
VR/VCR)1	0.12048	ALPHA-3	73.217	WU/WCR)3	-0.30446
WX/WCR)4	0.14105	V/VCR)5	0.23924	WR/WCR)3	0.11940
V/VCR)0	0.35422E-01	BETA-3	-68.586		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.19940		
V/VCR)2	0.39827	I-3	-40.756		
BETA-5	-58.563	VX/VCR)5	0.13218		
VR/VCR)2	0.11460	VCR)3	376.71		
VCR)5	357.55	ALPHA-5	56.460		
				OVERALL PERFORMANCE	
EQ-W	0.15803	EQ-PO,/P5	1.3951	PO, /P5	1.4417 WT/P
	0.47763 W		0.24336		
EQ-DEL-H	19130.	ETA-S	0.72818	NU	0.94161
DEL-H/T	24.583	DEL-H	28134.		
EQ-N	544.24	ETA-T	0.80206	NS	0.12215E-01 N/T
	19.510 W.F.		0.41064		
EQ-TOR	53.046	EQ-PO,/P5	1.3511	PO,/P5,	1.3907

OVERALL PERFORMANCE	
PO, /P5	1.4417 WT/P
NU	0.94161
NS	0.12215E-01 N/T
PO,/P5,	1.3907

TOR/P N	574.71 660.00 1031.0 P5	TOR P	TURBINE.OUT 99.062 6.8467 0.12394E+06	WN/DEL	86.009	T5
VELOCITIES AND ANGLES						
V/VCR)1	0.45000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.46157	
W/WCR)4	0.29671	W/WCR)5	0.29117	VU/VCR)3	0.44188	
VU/VCR)1	0.42910	ALPHA-2	73.280	VR/VCR)3	0.13339	
WU/WCR)4	-0.24845	WX/WCR)5	0.15183	W/WCR)3	0.29078	
VR/VCR)1	0.13554	ALPHA-3	73.203	WU/WCR)3	-0.25721	
WX/WCR)4	0.16221	V/VCR)5	0.22947	WR/WCR)3	0.13563	
V/VCR)0	0.39194E-01	BETA-3	-62.196	OVERALL PERFORMANCE		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.17151	PO, /P5	1.5204	WT/P
V/VCR)2	0.44805	I-3	-37.078	NU	0.88444	
BETA-5	-58.571	VX/VCR)5	0.15245	NS	0.11683E-01	N/T
VR/VCR)2	0.12890	VCR)3	376.71	PO, /P5,	1.4709	
VCR)5	353.02	ALPHA-5	48.367	WN/DEL	95.158	T5
OVERALL PERFORMANCE						
EQ-W	0.17485	EQ-PO, /P5	1.4622			
0.52844 W		0.26925				
EQ-DEL-H	23509.	ETA-S	0.78946			
DEL-H/T	30.209	DEL-H	34572.			
EQ-N	544.24	ETA-T	0.85174			
19.510 W.F.		0.50462				
EQ-TOR	72.121	EQ-PO, /P5	1.4201			
TOR/P	781.37	TOR	134.68			
N	660.00	P	9.3087			
1005.0 P5		0.11719E+06				
VELOCITIES AND ANGLES						
V/VCR)1	0.50000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.51290	
W/WCR)4	0.33811	W/WCR)5	0.33176	VU/VCR)3	0.49098	
VU/VCR)1	0.47678	ALPHA-2	73.282	VR/VCR)3	0.14837	
WU/WCR)4	-0.28311	WX/WCR)5	0.17294	W/WCR)3	0.25866	
VR/VCR)1	0.15060	ALPHA-3	73.186	WU/WCR)3	-0.20914	
WX/WCR)4	0.18484	V/VCR)5	0.22436	WR/WCR)3	0.15221	
V/VCR)0	0.42739E-01	BETA-3	-53.952	OVERALL PERFORMANCE		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.14132	PO, /P5	1.6143	WT/P
V/VCR)2	0.49782	I-3	-31.098	NU	0.83207	
BETA-5	-58.581	VX/VCR)5	0.17427	NS	0.11207E-01	N/T
VR/VCR)2	0.14320	VCR)3	376.71	PO, /P5,	1.5640	
VCR)5	348.37	ALPHA-5	39.039	WN/DEL	103.75	T5
OVERALL PERFORMANCE						
EQ-W	0.19064	EQ-PO, /P5	1.5410			
0.57617 W		0.29357				
EQ-DEL-H	27944.	ETA-S	0.83056			
DEL-H/T	35.909	DEL-H	41095.			
EQ-N	544.24	ETA-T	0.88392			
19.510 W.F.		0.59983				
EQ-TOR	93.472	EQ-PO, /P5	1.4989			
TOR/P	1012.7	TOR	174.56			
N	660.00	P	12.064			
978.72 P5		0.11021E+06				
VELOCITIES AND ANGLES						
V/VCR)1	0.55000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.56425	
W/WCR)4	0.38325	W/WCR)5	0.37600	VU/VCR)3	0.54007	
VU/VCR)1	0.52446	ALPHA-2	73.286	VR/VCR)3	0.16340	
WU/WCR)4	-0.32091	WX/WCR)5	0.19594	W/WCR)3	0.23299	
VR/VCR)1	0.16566	ALPHA-3	73.166	WU/WCR)3	-0.16021	
WX/WCR)4	0.20952	V/VCR)5	0.22569	WR/WCR)3	0.16916	
V/VCR)0	0.46034E-01	BETA-3	-43.443	OVERALL PERFORMANCE		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.10791			
V/VCR)2	0.54759	I-3	-22.501			
BETA-5	-58.593	VX/VCR)5	0.19822			
VR/VCR)2	0.15749	VCR)3	376.71			
VCR)5	343.56	ALPHA-5	28.564			

		TURBINE.OUT			
EQ-W	0.20532	EQ-PO,/P5	1.6356	PO, /P5	1.7291 WT/P
	0.62053 W		0.31617		
EQ-DEL-H	32464.	ETA-S	0.85519	NU	0.78333
DEL-H/T	41.717	DEL-H	47743.		
EQ-N	544.24	ETA-T	0.90275	NS	0.10776E-01 N/T
	19.510 W.F.		0.69686		
EQ-TOR	116.95	EQ-PO,/P5	1.5908	PO,/P5,	1.6745
TOR/P	1267.1	TOR	218.40		
N	660.00	P	15.095	WN/DEL	111.74 T5
	951.92 P5		0.10294E+06		

				VELOCITIES AND ANGLES	
V/VCR)1	0.60000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.61562
W/WCR)4	0.43375	W/WCR)5	0.42546		
VU/VCR)1	0.57214	ALPHA-2	73.289	VU/VCR)3	0.58917
WU/WCR)4	-0.36319	WX/WCR)5	0.22161		
VR/VCR)1	0.18072	ALPHA-3	73.144	VR/VCR)3	0.17851
WX/WCR)4	0.23712	V/VCR)5	0.23580		
V/VCR)0	0.49058E-01	BETA-3	-30.621	W/WCR)3	0.21673
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.69851E-01		
V/VCR)2	0.59736	I-3	-11.315	WU/WCR)3	-0.11040
BETA-5	-58.610	VX/VCR)5	0.22522		
VR/VCR)2	0.17177	VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.18651
VCR)5	338.55	ALPHA-5 ,	17.231		

				OVERALL PERFORMANCE	
EQ-W	0.21878	EQ-PO,/P5	1.7518	PO, /P5	1.8732 WT/P
	0.66121 W		0.33690		
EQ-DEL-H	37113.	ETA-S	0.86615	NU	0.73731
DEL-H/T	47.691	DEL-H	54579.		
EQ-N	544.24	ETA-T	0.91116	NS	0.10386E-01 N/T
	19.510 W.F.		0.79664		
EQ-TOR	142.46	EQ-PO,/P5	1.7002	PO,/P5,	1.8088
TOR/P	1543.5	TOR	266.05		
N	660.00	P	18.388	WN/DEL	119.07 T5
	924.35 P5		95296.		

				VELOCITIES AND ANGLES	
V/VCR)1	0.65000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.66701
W/WCR)4	0.49243	W/WCR)5	0.48290		
VU/VCR)1	0.61981	ALPHA-2	73.293	VU/VCR)3	0.63827
WU/WCR)4	-0.41233	WX/WCR)5	0.25136		
VR/VCR)1	0.19578	ALPHA-3	73.119	VR/VCR)3	0.19369
WX/WCR)4	0.26920	V/VCR)5	0.25803		
V/VCR)0	0.51788E-01	BETA-3	-16.279	W/WCR)3	0.21282
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.24608E-01		
V/VCR)2	0.64713	I-3	1.6145	WU/WCR)3	-0.59655E-01
BETA-5	-58.633	VX/VCR)5	0.25686		
VR/VCR)2	0.18603	VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.20428
VCR)5	333.24	ALPHA-5 ,	5.4724		

				OVERALL PERFORMANCE	
EQ-W	0.23093	EQ-PO,/P5	1.9000	PO, /P5	2.0620 WT/P
	0.69794 W		0.35562		
EQ-DEL-H	41966.	ETA-S	0.86520	NU	0.69299
DEL-H/T	53.927	DEL-H	61716.		
EQ-N	544.24	ETA-T	0.91114	NS	0.10035E-01 N/T
	19.510 W.F.		0.90081		
EQ-TOR	170.04	EQ-PO,/P5	1.8340	PO,/P5,	1.9772
TOR/P	1842.3	TOR	317.55		
N	660.00	P	21.947	WN/DEL	125.68 T5
	895.57 P5		87178.		

				VELOCITIES AND ANGLES	
V/VCR)1	0.70000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.71843
W/WCR)4	0.56371	W/WCR)5	0.55261		
VU/VCR)1	0.66749	ALPHA-2	73.298	VU/VCR)3	0.68737
WU/WCR)4	-0.47202	WX/WCR)5	0.28736		
VR/VCR)1	0.21084	ALPHA-3	73.091	VR/VCR)3	0.20896
WX/WCR)4	0.30817	V/VCR)5	0.29739		

TURBINE.OUT

V/VCR)0	0.54206E-01	BETA-3	-2.0455	W/WCR)3	0.22265
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.31875E-01	WU/WCR)3	-0.79472E-02
V/VCR)2	0.69689	I-3	14.615	WR/WCR)3	0.22251
BETA-5	-58.667	VX/VCR)5	0.29568		
VR/VCR)2	0.20028	VCR)3	376.71		
VCR)5	327.48	AL PHA-5	-6.1530		
OVERALL PERFORMANCE					
EQ-W	0.24169	EQ-PO,/P5	2.0962	PO,/P5	2.3207 WT/P
	0.73046 W		0.37218		
EQ-DEL-H	47141.	ETA-S	0.85436	NU	0.64973
DEL-H/T	60.577	DEL-H	69327.		
EQ-N	544.24	ETA-T	0.90549	NS	0.97362E-02 N/T
	19.510 W.F.		1.0119		
EQ-TOR	199.91	EQ-PO,/P5	2.0015	PO,/P5,	2.1946
TOR/P	2165.9	TOR	373.33		
N	660.00	P	25.802	WN/DEL	131.54 T5
	864.88 P5		78544.		

VELOCITIES AND ANGLES

V/VCR)1	0.75000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.76988
W/WCR)4	0.66462	W/WCR)5	0.65110	VU/VCR)3	0.73647
VU/VCR)1	0.71517	ALPHA-2	73.303	VR/VCR)3	0.22434
WU/WCR)4	-0.55651	WX/WCR)5	0.33798	W/WCR)3	0.24535
VR/VCR)1	0.22590	ALPHA-3	73.058	WU/WCR)3	0.44770E-01
WX/WCR)4	0.36334	V/VCR)5	0.36965	WR/WCR)3	0.24124
V/VCR)0	0.56293E-01	BETA-3	10.514		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.11505		
V/VCR)2	0.74665	I-3	26.089		
BETA-5	-58.729	VX/VCR)5	0.35129		
VR/VCR)2	0.21452	VCR)3	376.71		
VCR)5	320.71	AL PHA-5	-18.135		

OVERALL PERFORMANCE

EQ-W	0.25097	EQ-PO,/P5	2.4025	PO,/P5	2.7451 WT/P
	0.75851 W		0.38648		
EQ-DEL-H	53107.	ETA-S	0.82811	NU	0.60268
DEL-H/T	68.244	DEL-H	78101.		
EQ-N	544.24	ETA-T	0.89146	NS	0.94925E-02 N/T
	19.510 W.F.		1.1400		
EQ-TOR	233.86	EQ-PO,/P5	2.2399	PO,/P5,	2.5166
TOR/P	2533.7	TOR	436.72		
N	660.00	P	30.184	WN/DEL	136.59 T5
	829.50 P5		68493.		

NASA RADIAL INFLOW TURBINE COMPUTER PROGRAM

12.62-CM DIA

90 PERCENT

GAMMA	1.6667	PO,	0.17237E+06	A1	0.38008E-02	ALPHA-1
72.470	BETA-4	-56.860	PD	0.98783		
R	99.198	TO,	1144.4	A3	0.39789E-02	BL1
0.95168	BL4	0.93718	K	0.28699		
D3	12.624	A0	0.12018E-01	A5	0.44543E-02	U3
214.16	U4/U3	0.56776	ZZ	22.000		

VELOCITIES AND ANGLES

V/VCR)1	0.30000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.30765
W/WCR)4	0.17691	W/WCR)5	0.17364	VU/VCR)3	0.29459
VU/VCR)1	0.28607	ALPHA-2	73.273	VR/VCR)3	0.88714E-01
WU/WCR)4	-0.14813	WX/WCR)5	0.90600E-01	W/WCR)3	0.28834
VR/VCR)1	0.90362E-01	ALPHA-3	73.240	WU/WCR)3	-0.27432
WX/WCR)4	0.96715E-01	V/VCR)5	0.20512	WR/WCR)3	0.88845E-01
V/VCR)0	0.27291E-01	BETA-3	-72.054		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.18410		
V/VCR)2	0.29871	I-3	-42.080		
BETA-5	-58.550	VX/VCR)5	0.90464E-01		
VR/VCR)2	0.85970E-01	VCR)3	376.71		
VCR)5	366.23	AL PHA-5	63.831		

OVERALL PERFORMANCE

EQ-W	0.12178	EQ-PO,/P5	1.2235	PO,/P5	1.2453 WT/P
	0.36806 W		0.18754		

			TURBINE.OUT		
EQ-DEL-H	10586.	ETA-S	0.65302	NU	0.98077
DEL-H/T	13.603	DEL-H	15568.		
EQ-N	445.29	ETA-T	0.73865	NS	0.12261E-01 N/T
	15.962	W.F.	0.33944		
EQ-TOR	27.646	EQ-PO,/P5	1.1945	PO,/P5,	1.2128
TOR/P	299.52	TOR	51.628		
N	540.00	P	2.9195	WN/DEL	54.228 T5
	1081.7	P5	0.14213E+06		

				VELOCITIES AND ANGLES	
V/VCR)1	0.35000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.35895
W/WCR)4	0.20937	W/WCR)5	0.20550		
VU/VCR)1	0.33375	ALPHA-2	73.275	VU/VCR)3	0.34368
WU/WCR)4	-0.17532	WX/WCR)5	0.10721		
VR/VCR)1	0.10542	ALPHA-3	73.230	VR/VCR)3	0.10357
WX/WCR)4	0.11446	V/VCR)5	0.19246		
V/VCR)0	0.31446E-01	BETA-3	-65.265	W/WCR)3	0.24964
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.15979		
V/VCR)2	0.34849	I-3	-38.975	WU/WCR)3	-0.22674
BETA-5	-58.554	VX/VCR)5	0.10728		
VR/VCR)2	0.10029	VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.10446
VCR)5	362.72	ALPHA-5	56.123		

				OVERALL PERFORMANCE	
EQ-W	0.14031	EQ-PO,/P5	1.2653	PO,/P5	1.2924 WT/P
	0.42406	W	0.21607		
EQ-DEL-H	14062.	ETA-S	0.74716	NU	0.91024
DEL-H/T	18.069	DEL-H	20679.		
EQ-N	445.29	ETA-T	0.81790	NS	0.11592E-01 N/T
	15.962	W.F.	0.45089		
EQ-TOR	42.311	EQ-PO,/P5	1.2390	PO,/P5,	1.2627
TOR/P	458.41	TOR	79.015		
N	540.00	P	4.4682	WN/DEL	62.479 T5
	1061.1	P5	0.13651E+06		

				VELOCITIES AND ANGLES	
V/VCR)1	0.40000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.41026
W/WCR)4	0.24313	W/WCR)5	0.23861		
VU/VCR)1	0.38142	ALPHA-2	73.277	VU/VCR)3	0.39278
WU/WCR)4	-0.20358	WX/WCR)5	0.12446		
VR/VCR)1	0.12048	ALPHA-3	73.217	VR/VCR)3	0.11846
WX/WCR)4	0.13292	V/VCR)5	0.18340		
V/VCR)0	0.35422E-01	BETA-3	-56.014	W/WCR)3	0.21526
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.13436		
V/VCR)2	0.39827	I-3	-32.654	WU/WCR)3	-0.17849
BETA-5	-58.560	VX/VCR)5	0.12483		
VR/VCR)2	0.11460	VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.12033
VCR)5	359.16	ALPHA-5	47.105		

				OVERALL PERFORMANCE	
EQ-W	0.15803	EQ-PO,/P5	1.3134	PO,/P5	1.3473 WT/P
	0.47763	W	0.24336		
EQ-DEL-H	17557.	ETA-S	0.80930	NU	0.84781
DEL-H/T	22.561	DEL-H	25820.		
EQ-N	445.29	ETA-T	0.86738	NS	0.11009E-01 N/T
	15.962	W.F.	0.56298		
EQ-TOR	59.502	EQ-PO,/P5	1.2888	PO,/P5,	1.3192
TOR/P	644.66	TOR	111.12		
N	540.00	P	6.2836	WN/DEL	70.371 T5
	1040.3	P5	0.13066E+06		

				VELOCITIES AND ANGLES	
V/VCR)1	0.45000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.46157
W/WCR)4	0.27863	W/WCR)5	0.27344		
VU/VCR)1	0.42910	ALPHA-2	73.280	VU/VCR)3	0.44188
WU/WCR)4	-0.23331	WX/WCR)5	0.14260		
VR/VCR)1	0.13554	ALPHA-3	73.203	VR/VCR)3	0.13339
WX/WCR)4	0.15232	V/VCR)5	0.17915		
V/VCR)0	0.39194E-01	BETA-3	-43.508	W/WCR)3	0.18818
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.10742		

			TURBINE.OUT		
V/VCR)2	0.44805	I-3	-22.523	WU/WCR)3	-0.12955
BETA-5	-58.567	VX/VCR)5	0.14337	WR/WCR)3	0.13648
VR/VCR)2	0.12890	VCR)3	376.71		
VCR)5	355.54	AL PHA-5 ,	36.842		
				OVERALL PERFORMANCE	
EQ-W	0.17485	EQ-PO,/P5	1.3699	PO, /P5	1.4124 WT/P
	0.52844 W		0.26925		
EQ-DEL-H	21083.	ETA-S	0.84685	NU	0.79142
DEL-H/T	27.092	DEL-H	31005.		
EQ-N	445.29	ETA-T	0.89577	NS	0.10483E-01 N/T
	15.962 W.F.		0.67602		
EQ-TOR	79.051	EQ-PO,/P5	1.3455	PO,/P5,	1.3842
TOR/P	856.45	TOR	147.63		
N	540.00	P	8.3480	WN/DEL	77.857 T5
	1019.4 P5		0.12452E+06		

				VELOCITIES AND ANGLES	
V/VCR)1	0.50000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.51290
W/WCR)4	0.31648	W/WCR)5	0.31055	VU/VCR)3	0.49098
VU/VCR)1	0.47678	ALPHA-2	73.282	VR/VCR)3	0.14837
WU/WCR)4	-0.26500	WX/WCR)5	0.16191	W/WCR)3	0.17255
VR/VCR)1	0.15060	ALPHA-3	73.186	WU/WCR)3	-0.79905E-01
WX/WCR)4	0.17301	V/VCR)5	0.18110	WR/WCR)3	0.15293
V/VCR)0	0.42739E-01	BETA-3	-27.587		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.78451E-01		
V/VCR)2	0.49782	I-3	-8.5599		
BETA-5	-58.575	VX/VCR)5	0.16323		
VR/VCR)2	0.14320	VCR)3	376.71		
VCR)5	351.83	AL PHA-5 ,	25.670		

				OVERALL PERFORMANCE	
EQ-W	0.19064	EQ-PO,/P5	1.4369	PO, /P5	1.4906 WT/P
	0.57617 W		0.29357		
EQ-DEL-H	24651.	ETA-S	0.86558	NU	0.73994
DEL-H/T	31.678	DEL-H	36253.		
EQ-N	445.29	ETA-T	0.90898	NS	0.10005E-01 N/T
	15.962 W.F.		0.79046		
EQ-TOR	100.78	EQ-PO,/P5	1.4110	PO,/P5,	1.4602
TOR/P	1091.9	TOR	188.21		
N	540.00	P	10.643	WN/DEL	84.889 T5
	998.25 P5		0.11804E+06		

				VELOCITIES AND ANGLES	
V/VCR)1	0.55000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.56425
W/WCR)4	0.35735	W/WCR)5	0.35062	VU/VCR)3	0.54007
VU/VCR)1	0.52446	ALPHA-2	73.286	VR/VCR)3	0.16340
WU/WCR)4	-0.29922	WX/WCR)5	0.18275	W/WCR)3	0.17224
VR/VCR)1	0.16566	ALPHA-3	73.166	WU/WCR)3	-0.29517E-01
WX/WCR)4	0.19536	V/VCR)5	0.19062	WR/WCR)3	0.16969
V/VCR)0	0.46034E-01	BETA-3	-9.8677		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.46839E-01		
V/VCR)2	0.54759	I-3	7.5186		
BETA-5	-58.586	VX/VCR)5	0.18478		
VR/VCR)2	0.15749	VCR)3	376.71		
VCR)5	348.01	AL PHA-5 ,	14.224		

				OVERALL PERFORMANCE	
EQ-W	0.20532	EQ-PO,/P5	1.5168	PO, /P5	1.5854 WT/P
	0.62053 W		0.31617		
EQ-DEL-H	28279.	ETA-S	0.87050	NU	0.69281
DEL-H/T	36.339	DEL-H	41588.		
EQ-N	445.29	ETA-T	0.91180	NS	0.95735E-02 N/T
	15.962 W.F.		0.90679		
EQ-TOR	124.51	EQ-PO,/P5	1.4868	PO,/P5,	1.5496
TOR/P	1349.0	TOR	232.53		
N	540.00	P	13.149	WN/DEL	91.424 T5
	976.74 P5		0.11123E+06		

				VELOCITIES AND ANGLES	
V/VCR)1	0.60000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.61562

TURBINE.OUT

W/WCR)4	0.40173	W/WCR)5	0.39410	VU/VCR)3	0.58917	
VU/VCR)1	0.57214	ALPHA-2	73.289			
WU/WCR)4	-0.33638	WX/WCR)5	0.20534	VR/VCR)3	0.17851	
VR/VCR)1	0.18072	ALPHA-3	73.144			
WX/WCR)4	0.21962	V/VCR)5	0.20865	W/WCR)3	0.18803	
V/VCR)0	0.49058E-01	BETA-3	6.6064			
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.12134E-01	WU/WCR)3	0.21633E-01	
V/VCR)2	0.59736	I-3	22.600			
BETA-5	-58.599	VX/VCR)5	0.20830	WR/WCR)3	0.18678	
VR/VCR)2	0.17177	VCR)3	376.71			
VCR)5	344.09	AL PHA-5 ,	3.3340			
OVERALL PERFORMANCE						
EQ-W	0.21878	EQ-PO,/P5	1.6113	PO, /P5	1.6994	WT/P
	0.66121		0.33690			
EQ-DEL-H	31975.	ETA-S	0.86686	NU	0.65018	
DEL-H/T	41.089	DEL-H	47024.			
EQ-N	445.29	ETA-T	0.90921	NS	0.91980E-02	N/T
	15.962		1.0253			
EQ-TOR	150.02	EQ-PO,/P5	1.5735	PO,/P5,	1.6536	
TOR/P	1625.3	TOR	280.15			
N	540.00	P	15.842	WN/DEL	97.418	T5
	954.82		0.10424E+06			

V/VCR)1	0.65000	ALPHA-1	72.470	VELOCITIES AND ANGLES		
W/WCR)4	0.45176	W/WCR)5	0.44310	V/VCR)3	0.66701	
VU/VCR)1	0.61981	ALPHA-2	73.293	VU/VCR)3	0.63827	
WU/WCR)4	-0.37827	WX/WCR)5	0.23075	VR/VCR)3	0.19369	
VR/VCR)1	0.19578	ALPHA-3	73.119			
WX/WCR)4	0.24697	V/VCR)5	0.23658	W/WCR)3	0.21708	
V/VCR)0	0.51788E-01	BETA-3	19.811	WU/WCR)3	0.73572E-01	
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.27557E-01			
V/VCR)2	0.64713	I-3	34.608	WR/WCR)3	0.20424	
BETA-5	-58.617	VX/VCR)5	0.23497			
VR/VCR)2	0.18603	VCR)3	376.71			
VCR)5	339.99	AL PHA-5 ,	-6.6891			
OVERALL PERFORMANCE						
EQ-W	0.23093	EQ-PO,/P5	1.7283	PO, /P5	1.8438	WT/P
	0.69794		0.35562			
EQ-DEL-H	35788.	ETA-S	0.85424	NU	0.61008	
DEL-H/T	45.989	DEL-H	52631.			
EQ-N	445.29	ETA-T	0.90031	NS	0.88583E-02	N/T
	15.962		1.1476			
EQ-TOR	177.23	EQ-PO,/P5	1.6769	PO,/P5,	1.7800	
TOR/P	1920.2	TOR	330.98			
N	540.00	P	18.717	WN/DEL	102.83	T5
	932.21		96837.			

V/VCR)1	0.70000	ALPHA-1	72.470	VELOCITIES AND ANGLES		
W/WCR)4	0.51105	W/WCR)5	0.50112	V/VCR)3	0.71843	
VU/VCR)1	0.66749	ALPHA-2	73.298	VU/VCR)3	0.68737	
WU/WCR)4	-0.42792	WX/WCR)5	0.26078	VR/VCR)3	0.20896	
VR/VCR)1	0.21084	ALPHA-3	73.091			
WX/WCR)4	0.27938	V/VCR)5	0.27724	W/WCR)3	0.25549	
V/VCR)0	0.54206E-01	BETA-3	29.634	WU/WCR)3	0.12633	
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.75467E-01			
V/VCR)2	0.69689	I-3	43.393	WR/WCR)3	0.22207	
BETA-5	-58.641	VX/VCR)5	0.26677			
VR/VCR)2	0.20028	VCR)3	376.71			
VCR)5	335.62	AL PHA-5 ,	-15.796			
OVERALL PERFORMANCE						
EQ-W	0.24169	EQ-PO,/P5	1.8807	PO, /P5	2.0370	WT/P
	0.73046		0.37218			
EQ-DEL-H	39801.	ETA-S	0.83266	NU	0.57115	
DEL-H/T	51.145	DEL-H	58533.			
EQ-N	445.29	ETA-T	0.88535	NS	0.85514E-02	N/T
	15.962		1.2762			

			TURBINE.OUT			
EQ-TOR	206.29	EQ-PO,/P5	1.8052	PO,/P5,	1.9406	
TOR/P	2235.0	TOR	385.24			
N	540.00	P	21.785	WN/DEL	107.62	T5
	908.41	P5	88823.			

				VELOCITIES AND ANGLES		
V/VCR)1	0.75000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.76988	
W/WCR)4	0.58750	W/WCR)5	0.57585			
VU/VCR)1	0.71517	ALPHA-2	73.303	VU/VCR)3	0.73647	
WU/WCR)4	-0.49194	WX/WCR)5	0.29934			
VR/VCR)1	0.22590	ALPHA-3	73.058	VR/VCR)3	0.22434	
WX/WCR)4	0.32118	V/VCR)5	0.33787			
V/VCR)0	0.56293E-01	BETA-3	36.823	W/WCR)3	0.30021	
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.13871			
V/VCR)2	0.74665	I-3	49.670	WU/WCR)3	0.17993	
BETA-5	-58.680	VX/VCR)5	0.30808			
VR/VCR)2	0.21452	VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.24032	
VCR)5	330.77	ALPHA-5	-24.239			

				OVERALL PERFORMANCE		
EQ-W	0.25097	EQ-PO,/P5	2.0962	PO,/P5	2.3207	WT/P
	0.75851	W	0.38648			
EQ-DEL-H	44194.	ETA-S	0.80095	NU	0.53160	
DEL-H/T	56.790	DEL-H	64993.			
EQ-N	445.29	ETA-T	0.86437	NS	0.82837E-02	N/T
	15.962	W.F.	1.4171			
EQ-TOR	237.85	EQ-PO,/P5	1.9742	PO,/P5,	2.1586	
TOR/P	2577.0	TOR	444.19			
N	540.00	P	25.118	WN/DEL	111.75	T5
	882.36	P5	79851.			

NASA RADIAL INFLOW TURBINE COMPUTER PROGRAM  
12.62-CM DIA  
70 PERCENT

GAMMA	1.6667	PO,	0.17237E+06	A1	0.38008E-02	ALPHA-1
72.470	BETA-4	-56.860	PD	0.98783		
R	99.198	TO,	1144.4	A3	0.39789E-02	BL1
0.95168	BL4	0.93718	K	0.28699		
D3	12.624	A0	0.12018E-01	A5	0.44543E-02	U3
166.57	U4/U3	0.56776	ZZ	22.000		

				VELOCITIES AND ANGLES		
V/VCR)1	0.30000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.30765	
W/WCR)4	0.16951	W/WCR)5	0.16638			
VU/VCR)1	0.28607	ALPHA-2	73.273	VU/VCR)3	0.29459	
WU/WCR)4	-0.14194	WX/WCR)5	0.86814E-01			
VR/VCR)1	0.90362E-01	ALPHA-3	73.240	VR/VCR)3	0.88714E-01	
WX/WCR)4	0.92669E-01	V/VCR)5	0.14465			
V/VCR)0	0.27291E-01	BETA-3	-58.989	W/WCR)3	0.17361	
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.11564			
V/VCR)2	0.29871	I-3	-34.829	WU/WCR)3	-0.14879	
BETA-5	-58.549	VX/VCR)5	0.86887E-01			
VR/VCR)2	0.85970E-01	VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.89444E-01	
VCR)5	366.98	ALPHA-5	53.081			

				OVERALL PERFORMANCE		
EQ-W	0.12178	EQ-PO,/P5	1.1716	PO,/P5	1.1872	WT/P
	0.36806	W	0.18754			
EQ-DEL-H	9839.9	ETA-S	0.76846	NU	0.85829	
DEL-H/T	12.645	DEL-H	14471.			
EQ-N	346.34	ETA-T	0.82987	NS	0.10784E-01	N/T
	12.415	W.F.	0.52158			
EQ-TOR	33.041	EQ-PO,/P5	1.1576	PO,/P5,	1.1718	
TOR/P	357.97	TOR	61.702			
N	420.00	P	2.7138	WN/DEL	42.177	T5
	1086.1	P5	0.14710E+06			

				VELOCITIES AND ANGLES		
V/VCR)1	0.35000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.35895	
W/WCR)4	0.20014	W/WCR)5	0.19644			
VU/VCR)1	0.33375	ALPHA-2	73.275	VU/VCR)3	0.34368	

TURBINE.OUT

WU/WCR)4	-0.16759	WX/WCR)5	0.10248	VR/VCR)3	0.10357	
VR/VCR)1	0.10542	ALPHA-3	73.230	W/WCR)3	0.14489	
WX/WCR)4	0.10941	V/VCR)5	0.13765	WU/WCR)3	-0.99844E-01	
V/VCR)0	0.31446E-01	BETA-3	-43.557	WR/WCR)3	0.10500	
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.91606E-01	OVERALL PERFORMANCE		
V/VCR)2	0.34849	I-3	-22.539	PO, /P5	1.2268	WT/P
BETA-5	-58.553	VX/VCR)5	0.10274	NU	0.78897	
VR/VCR)2	0.10029	VCR)3	376.71	NS	0.10148E-01	N/T
VCR)5	364.28	AL PHA-5 ,	41.722	PO, /P5,	1.2124	
EQ-W	0.14031	EQ-PO, /P5	1.2071	WN/DEL	48.595	T5
0.42406	W	0.21607		VELOCITIES AND ANGLES		
EQ-DEL-H	12518.	ETA-S	0.82606	V/VCR)3	0.41026	
DEL-H/T	16.086	DEL-H	18409.	VU/VCR)3	0.39278	
EQ-N	346.34	ETA-T	0.87492	VR/VCR)3	0.11846	
12.415	W.F.	0.66353		W/WCR)3	0.13085	
EQ-TOR	48.428	EQ-PO, /P5	1.1941	WU/WCR)3	-0.50349E-01	
TOR/P	524.68	TOR	90.438	WR/WCR)3	0.12077	
N	420.00	P	3.9777	OVERALL PERFORMANCE		
1070.2	P5	0.14218E+06		PO, /P5	1.2742	WT/P

V/VCR)1	0.40000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.41026	
W/WCR)4	0.23203	W/WCR)5	0.22772	VU/VCR)3	0.39278	
VU/VCR)1	0.38142	ALPHA-2	73.277	VR/VCR)3	0.11846	
WU/WCR)4	-0.19429	WX/WCR)5	0.11879	W/WCR)3	0.13085	
VR/VCR)1	0.12048	ALPHA-3	73.217	WU/WCR)3	-0.50349E-01	
WX/WCR)4	0.12685	V/VCR)5	0.13655	WR/WCR)3	0.12077	
V/VCR)0	0.35422E-01	BETA-3	-22.630	OVERALL PERFORMANCE		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.66467E-01	PO, /P5	1.2742	WT/P
V/VCR)2	0.39827	I-3	-4.0613	NU	0.72744	
BETA-5	-58.558	VX/VCR)5	0.11929	NS	0.95703E-02	N/T
VR/VCR)2	0.11460	VCR)3	376.71	PO, /P5,	1.2594	
VCR)5	361.55	AL PHA-5 ,	29.127	WN/DEL	54.733	T5
EQ-W	0.15803	EQ-PO, /P5	1.2491	VELOCITIES AND ANGLES		
0.47763	W	0.24336		V/VCR)3	0.46157	
EQ-DEL-H	15213.	ETA-S	0.85345	VU/VCR)3	0.44188	
DEL-H/T	19.549	DEL-H	22373.	VR/VCR)3	0.13339	
EQ-N	346.34	ETA-T	0.89462	W/WCR)3	0.13677	
12.415	W.F.	0.80640		WU/WCR)3	-0.29324E-03	
EQ-TOR	66.290	EQ-PO, /P5	1.2360	WR/WCR)3	0.13677	
TOR/P	718.20	TOR	123.80	OVERALL PERFORMANCE		
N	420.00	P	5.4448	PO, /P5	1.3300	WT/P
1054.2	P5	0.13687E+06		NU	0.67336	

V/VCR)1	0.45000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.46157	
W/WCR)4	0.26537	W/WCR)5	0.26043	VU/VCR)3	0.44188	
VU/VCR)1	0.42910	ALPHA-2	73.280	VR/VCR)3	0.13339	
WU/WCR)4	-0.22221	WX/WCR)5	0.13583	W/WCR)3	0.13677	
VR/VCR)1	0.13554	ALPHA-3	73.203	WU/WCR)3	-0.29324E-03	
WX/WCR)4	0.14508	V/VCR)5	0.14239	WR/WCR)3	0.13677	
V/VCR)0	0.39194E-01	BETA-3	-0.12284	OVERALL PERFORMANCE		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.40044E-01	PO, /P5	1.3300	WT/P
V/VCR)2	0.44805	I-3	16.489	NU	0.67336	
BETA-5	-58.564	VX/VCR)5	0.13665	NS	0.90596E-02	N/T
VR/VCR)2	0.12890	VCR)3	376.71	PO, /P5,	1.3132	
VCR)5	358.78	AL PHA-5 ,	16.333	VELOCITIES AND ANGLES		
EQ-W	0.17485	EQ-PO, /P5	1.2983	V/VCR)3	0.46157	
0.52844	W	0.26925		VU/VCR)3	0.44188	
EQ-DEL-H	17930.	ETA-S	0.86182	VR/VCR)3	0.13339	
DEL-H/T	23.040	DEL-H	26368.	W/WCR)3	0.13677	
EQ-N	346.34	ETA-T	0.89976	WU/WCR)3	-0.29324E-03	
12.415	W.F.	0.95038		WR/WCR)3	0.13677	
EQ-TOR	86.437	EQ-PO, /P5	1.2835	OVERALL PERFORMANCE		
TOR/P	936.47	TOR	161.42	PO, /P5	1.3300	WT/P

		TURBINE.OUT			
N	420.00	P	7.0996	WN/DEL	60.555 T5
	1038.1 P5		0.13126E+06		
VELOCITIES AND ANGLES					
V/VCR)1	0.50000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.51290
W/WCR)4	0.30052	W/WCR)5	0.29491		
VU/VCR)1	0.47678	ALPHA-2	73.282	VU/VCR)3	0.49098
WU/WCR)4	-0.25164	WX/WCR)5	0.15377		
VR/VCR)1	0.15060	ALPHA-3	73.186	VR/VCR)3	0.14837
WX/WCR)4	0.16429	V/VCR)5	0.15547		
V/VCR)0	0.42739E-01	BETA-3	18.211	W/WCR)3	0.16107
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.12028E-01		
V/VCR)2	0.49782	I-3	33.225	WU/WCR)3	0.50337E-01
BETA-5	-58.571	VX/VCR)5	0.15500		
VR/VCR)2	0.14320	VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.15300
VCR)5	355.96	ALPHA-5	4.4371		
OVERALL PERFORMANCE					
EQ-W	0.19064	EQ-PO,/P5	1.3557	PO,/P5	1.3960 WT/P
	0.57617 W		0.29357		
EQ-DEL-H	20673.	ETA-S	0.85747	NU	0.62550
DEL-H/T	26.565	DEL-H	30402.		
EQ-N	346.34	ETA-T	0.89561	NS	0.86077E-02 N/T
	12.415 W.F.		1.0958		
EQ-TOR	108.66	EQ-PO,/P5	1.3375	PO,/P5,	1.3750
TOR/P	1177.3	TOR	202.93		
N	420.00	P	8.9253	WN/DEL	66.025 T5
	1021.8 P5		0.12536E+06		
VELOCITIES AND ANGLES					
V/VCR)1	0.55000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.56425
W/WCR)4	0.33843	W/WCR)5	0.33207		
VU/VCR)1	0.52446	ALPHA-2	73.286	VU/VCR)3	0.54007
WU/WCR)4	-0.28338	WX/WCR)5	0.17311		
VR/VCR)1	0.16566	ALPHA-3	73.166	VR/VCR)3	0.16340
WX/WCR)4	0.18502	V/VCR)5	0.17583		
V/VCR)0	0.46034E-01	BETA-3	30.929	W/WCR)3	0.19759
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.18403E-01		
V/VCR)2	0.54759	I-3	44.617	WU/WCR)3	0.10156
BETA-5	-58.581	VX/VCR)5	0.17487		
VR/VCR)2	0.15749	VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.16949
VCR)5	353.07	ALPHA-5	-6.0076		
OVERALL PERFORMANCE					
EQ-W	0.20532	EQ-PO,/P5	1.4251	PO,/P5	1.4768 WT/P
	0.62053 W		0.31617		
EQ-DEL-H	23461.	ETA-S	0.84188	NU	0.58180
DEL-H/T	30.148	DEL-H	34502.		
EQ-N	346.34	ETA-T	0.88262	NS	0.81909E-02 N/T
	12.415 W.F.		1.2436		
EQ-TOR	132.81	EQ-PO,/P5	1.4009	PO,/P5,	1.4484
TOR/P	1438.9	TOR	248.02		
N	420.00	P	10.909	WN/DEL	71.108 T5
	1005.3 P5		0.11900E+06		
VELOCITIES AND ANGLES					
V/VCR)1	0.60000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.61562
W/WCR)4	0.38010	W/WCR)5	0.37291		
VU/VCR)1	0.57214	ALPHA-2	73.289	VU/VCR)3	0.58917
WU/WCR)4	-0.31827	WX/WCR)5	0.19433		
VR/VCR)1	0.18072	ALPHA-3	73.144	VR/VCR)3	0.17851
WX/WCR)4	0.20780	V/VCR)5	0.20357		
V/VCR)0	0.49058E-01	BETA-3	39.473	W/WCR)3	0.24127
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.52137E-01		
V/VCR)2	0.59736	I-3	52.040	WU/WCR)3	0.15338
BETA-5	-58.592	VX/VCR)5	0.19678		
VR/VCR)2	0.17177	VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.18625
VCR)5	350.09	ALPHA-5	-14.840		
OVERALL PERFORMANCE					
EQ-W	0.21878	EQ-PO,/P5	1.5099	PO,/P5	1.5771 WT/P

			TURBINE.OUT			
	0.66121	W	0.33690			
EQ-DEL-H	26312.		ETA-S	0.81843	NU	0.54167
DEL-H/T	33.811		DEL-H	38695.		
EQ-N	346.34		ETA-T	0.86366	NS	0.78108E-02 N/T
	12.415	W.F.		1.3947		
EQ-TOR	158.72		EQ-PO,/P5	1.4758	PO,/P5,	1.5365
TOR/P	1719.6		TOR	296.40		
N	420.00		P	13.036	WN/DEL	75.770 T5
	988.40	P5		0.11218E+06		

				VELOCITIES AND ANGLES		
V/VCR)1	0.65000		ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.66701
W/WCR)4	0.42703		W/WCR)5	0.41888		
VU/VCR)1	0.61981		ALPHA-2	73.293	VU/VCR)3	0.63827
WU/WCR)4	-0.35756		WX/WCR)5	0.21819		
VR/VCR)1	0.19578		ALPHA-3	73.119	VR/VCR)3	0.19369
WX/WCR)4	0.23345		V/VCR)5	0.23931		
V/VCR)0	0.51788E-01		BETA-3	45.355	W/WCR)3	0.28929
BETA-4	-56.860		VU/VCR)5	-0.90497E-01		
V/VCR)2	0.64713		I-3	56.966	WU/WCR)3	0.20583
BETA-5	-58.608		VX/VCR)5	0.22154		
VR/VCR)2	0.18603		VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.20329
VCR)5	346.98		ALPHA-5	-22.220		

				OVERALL PERFORMANCE		
EQ-W	0.23093		EQ-PO,/P5	1.6150	PO,/P5	1.7039 WT/P
	0.69794	W		0.35562		
EQ-DEL-H	29252.		ETA-S	0.78951	NU	0.50457
DEL-H/T	37.590		DEL-H	43019.		
EQ-N	346.34		ETA-T	0.84092	NS	0.74698E-02 N/T
	12.415	W.F.		1.5505		
EQ-TOR	186.26		EQ-PO,/P5	1.5653	PO,/P5,	1.6436
TOR/P	2017.9		TOR	347.83		
N	420.00		P	15.298	WN/DEL	79.979 T5
	970.97	P5		0.10487E+06		

				VELOCITIES AND ANGLES		
V/VCR)1	0.70000		ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.71843
W/WCR)4	0.48185		W/WCR)5	0.47255		
VU/VCR)1	0.66749		ALPHA-2	73.298	VU/VCR)3	0.68737
WU/WCR)4	-0.40347		WX/WCR)5	0.24600		
VR/VCR)1	0.21084		ALPHA-3	73.091	VR/VCR)3	0.20896
WX/WCR)4	0.26342		V/VCR)5	0.28503		
V/VCR)0	0.54206E-01		BETA-3	49.563	W/WCR)3	0.34017
BETA-4	-56.860		VU/VCR)5	-0.13584		
V/VCR)2	0.69689		I-3	60.345	WU/WCR)3	0.25891
BETA-5	-58.629		VX/VCR)5	0.25058		
VR/VCR)2	0.20028		VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.22064
VCR)5	343.71		ALPHA-5	-28.461		

				OVERALL PERFORMANCE		
EQ-W	0.24169		EQ-PO,/P5	1.7496	PO,/P5	1.8705 WT/P
	0.73046	W		0.37218		
EQ-DEL-H	32330.		ETA-S	0.75606	NU	0.46968
DEL-H/T	41.545		DEL-H	47545.		
EQ-N	346.34		ETA-T	0.81546	NS	0.71681E-02 N/T
	12.415	W.F.		1.7137		
EQ-TOR	215.44		EQ-PO,/P5	1.6745	PO,/P5,	1.7770
TOR/P	2334.2		TOR	402.34		
N	420.00		P	17.696	WN/DEL	83.705 T5
	952.71	P5		97002.		

				VELOCITIES AND ANGLES		
V/VCR)1	0.75000		ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.76988
W/WCR)4	0.55030		W/WCR)5	0.53950		
VU/VCR)1	0.71517		ALPHA-2	73.303	VU/VCR)3	0.73647
WU/WCR)4	-0.46078		WX/WCR)5	0.28060		
VR/VCR)1	0.22590		ALPHA-3	73.058	VR/VCR)3	0.22434
WX/WCR)4	0.30084		V/VCR)5	0.34601		
V/VCR)0	0.56293E-01		BETA-3	52.682	W/WCR)3	0.39313

		TURBINE.OUT			
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.19327	WU/WCR)3	0.31265
V/VCR)2	0.74665	I-3	62.741		
BETA-5	-58.660	VX/VCR)5	0.28701	WR/WCR)3	0.23833
VR/VCR)2	0.21452	VCR)3	376.71		
VCR)5	340.14	AL PHA-5	, -33.956		
		OVERALL PERFORMANCE			
EQ-W	0.25097	EQ-PO,/P5	1.9335	PO, /P5	2.1054
	0.75851		0.38648	WT/P	
EQ-DEL-H	35650.	ETA-S	0.71722	NU	0.43563
DEL-H/T	45.811	DEL-H	52428.		
EQ-N	346.34	ETA-T	0.78724	NS	0.69070E-02
	12.415		1.8897	N/T	
EQ-TOR	246.69	EQ-PO,/P5	1.8138	PO,/P5,	1.9514
TOR/P	2672.7	TOR	460.69		
N	420.00	P	20.262	WN/DEL	86.920
	933.03		88330.	T5	

NASA RADIAL INFLOW TURBINE COMPUTER PROGRAM						
12.62-CM DIA						
50 PERCENT						
GAMMA	1.6667	PO,	0.17237E+06	A1	0.38008E-02	ALPHA-1
72.470	BETA-4	-56.860	PD	0.98783		
R	99.198	TO,	1144.4	A3	0.39789E-02	BL1
0.95168	BL4	0.93718	K	0.28699		
D3	12.624	A0	0.12018E-01	A5	0.44543E-02	U3
118.98	U4/U3	0.56776	ZZ	22.000		

		VELOCITIES AND ANGLES			
V/VCR)1	0.30000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.30765
W/WCR)4	0.16409	W/WCR)5	0.16107		
VU/VCR)1	0.28607	ALPHA-2	73.273	VU/VCR)3	0.29459
WU/WCR)4	-0.13740	WX/WCR)5	0.84041E-01	VR/VCR)3	0.88714E-01
VR/VCR)1	0.90362E-01	ALPHA-3	73.240		
WX/WCR)4	0.89708E-01	V/VCR)5	0.95755E-01	WR/WCR)3	0.89687E-01
V/VCR)0	0.27291E-01	BETA-3	-13.468	W/WCR)3	0.92224E-01
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.45565E-01	WU/WCR)3	-0.21479E-01
V/VCR)2	0.29871	I-3	4.2979		
BETA-5	-58.548	VX/VCR)5	0.84219E-01		
VR/VCR)2	0.85970E-01	VCR)3	376.71		
VCR)5	368.61	AL PHA-5	, 28.415		
		OVERALL PERFORMANCE			
EQ-W	0.12178	EQ-PO,/P5	1.1310	PO, /P5	1.1423
	0.36806		0.18754	WT/P	
EQ-DEL-H	8206.4	ETA-S	0.82046	NU	0.69366
DEL-H/T	10.545	DEL-H	12069.		
EQ-N	247.38	ETA-T	0.85646	NS	0.89178E-02
	8.8680		0.85258	N/T	
EQ-TOR	38.578	EQ-PO,/P5	1.1250	PO,/P5,	1.1358
TOR/P	417.96	TOR	72.043		
N	300.00	P	2.2633	WN/DEL	30.127
	1095.8		0.15176E+06	T5	

		VELOCITIES AND ANGLES			
V/VCR)1	0.35000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.35895
W/WCR)4	0.19349	W/WCR)5	0.18991		
VU/VCR)1	0.33375	ALPHA-2	73.275	VU/VCR)3	0.34368
WU/WCR)4	-0.16201	WX/WCR)5	0.99081E-01	VR/VCR)3	0.10357
VR/VCR)1	0.10542	ALPHA-3	73.230		
WX/WCR)4	0.10578	V/VCR)5	0.10174	W/WCR)3	0.10886
V/VCR)0	0.31446E-01	BETA-3	15.052	WU/WCR)3	0.28269E-01
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	0.21669E-01		
V/VCR)2	0.34849	I-3	30.399		
BETA-5	-58.552	VX/VCR)5	0.99402E-01		
VR/VCR)2	0.10029	VCR)3	376.71		
VCR)5	366.71	AL PHA-5	, 12.298		
		OVERALL PERFORMANCE			
EQ-W	0.14031	EQ-PO,/P5	1.1620	PO, /P5	1.1766
	0.42406		0.21607	WT/P	
EQ-DEL-H	10109.	ETA-S	0.83166	NU	0.62923

			TURBINE.OUT			
DEL-H/T	12.990		DEL-H	14867.		
EQ-N	247.38		ETA-T	0.86505	NS	0.83263E-02 N/T
	8.8680	W.F.		1.0503		
EQ-TOR	54.753		EQ-PO,/P5	1.1551	PO,/P5,	1.1690
TOR/P	593.20		TOR	102.25		
N	300.00		P	3.2123	WN/DEL	34.710 T5
	1084.5	P5		0.14745E+06		

VELOCITIES AND ANGLES

V/VCR)1	0.40000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.41026
W/WCR)4	0.22408	W/WCR)5	0.21993	VU/VCR)3	0.39278
VU/VCR)1	0.38142	ALPHA-2	73.277	VR/VCR)3	0.11846
WU/WCR)4	-0.18763	WX/WCR)5	0.11473	W/WCR)3	0.14395
VR/VCR)1	0.12048	ALPHA-3	73.217	WU/WCR)3	0.78417E-01
WX/WCR)4	0.12250	V/VCR)5	0.11528	WR/WCR)3	0.12072
V/VCR)0	0.35422E-01	BETA-3	33.007		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.32815E-02		
V/VCR)2	0.39827	I-3	46.501		
BETA-5	-58.557	VX/VCR)5	0.11523		
VR/VCR)2	0.11460	VCR)3	376.71		
VCR)5	364.78	ALPHA-5	-1.6312		

OVERALL PERFORMANCE

EQ-W	0.15803	EQ-PO,/P5	1.1995	PO,/P5	1.2183	WT/P
	0.47763		0.24336	NU	0.57299	
EQ-DEL-H	12025.	ETA-S	0.82036	NS	0.77817E-02	N/T
DEL-H/T	15.453	DEL-H	17685.			
EQ-N	247.38	ETA-T	0.85504			
	8.8680		1.2494	PO,/P5,	1.2082	
EQ-TOR	73.359	EQ-PO,/P5	1.1904	WN/DEL	39.095	T5
TOR/P	794.79	TOR	137.00			
N	300.00	P	4.3039			
	1073.1		0.14266E+06			

VELOCITIES AND ANGLES

V/VCR)1	0.45000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.46157
W/WCR)4	0.25629	W/WCR)5	0.25153	VU/VCR)3	0.44188
VU/VCR)1	0.42910	ALPHA-2	73.280	VR/VCR)3	0.13339
WU/WCR)4	-0.21460	WX/WCR)5	0.13119	W/WCR)3	0.18778
VR/VCR)1	0.13554	ALPHA-3	73.203	WU/WCR)3	0.12897
WX/WCR)4	0.14011	V/VCR)5	0.13523	WR/WCR)3	0.13648
V/VCR)0	0.39194E-01	BETA-3	43.379		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.29647E-01		
V/VCR)2	0.44805	I-3	55.409		
BETA-5	-58.562	VX/VCR)5	0.13194		
VR/VCR)2	0.12890	VCR)3	376.71		
VCR)5	362.83	ALPHA-5	-12.664		

OVERALL PERFORMANCE

EQ-W	0.17485	EQ-PO,/P5	1.2447	PO,/P5	1.2692	WT/P
	0.52844		0.26925	NU	0.52364	
EQ-DEL-H	13961.	ETA-S	0.79541	NS	0.72853E-02	N/T
DEL-H/T	17.940	DEL-H	20531.			
EQ-N	247.38	ETA-T	0.83368			
	8.8680		1.4504	PO,/P5,	1.2547	
EQ-TOR	94.225	EQ-PO,/P5	1.2319	WN/DEL	43.254	T5
TOR/P	1020.9	TOR	175.96			
N	300.00	P	5.5281			
	1061.6		0.13737E+06			

VELOCITIES AND ANGLES

V/VCR)1	0.50000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.51290
W/WCR)4	0.29056	W/WCR)5	0.28514	VU/VCR)3	0.49098
VU/VCR)1	0.47678	ALPHA-2	73.282	VR/VCR)3	0.14837
WU/WCR)4	-0.24330	WX/WCR)5	0.14869	W/WCR)3	0.23583
VR/VCR)1	0.15060	ALPHA-3	73.186	WU/WCR)3	0.17994
WX/WCR)4	0.15885	V/VCR)5	0.16051		
V/VCR)0	0.42739E-01	BETA-3	49.731		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.57810E-01		
V/VCR)2	0.49782	I-3	60.577		

		TURBINE.OUT			
BETA-5	-58.569	VX/VCR)5	0.14974	WR/WCR)3	0.15243
VR/VCR)2	0.14320	VCR)3	376.71		
VCR)5	360.83	AL PHA-5	-21.110		
EQ-W	0.19064	EQ-PO,/P5	1.2991	OVERALL PERFORMANCE	
	0.57617		0.29357	PO, /P5	1.3309 WT/P
EQ-DEL-H	15921.	ETA-S	0.76350	NU	0.48041
DEL-H/T	20.459	DEL-H	23414.	NS	0.68425E-02 N/T
EQ-N	247.38	ETA-T	0.80667		
	8.8680		1.6541		
EQ-TOR	117.16	EQ-PO,/P5	1.2804	PO,/P5,	1.3096
TOR/P	1269.4	TOR	218.80	WN/DEL	47.161 T5
N	300.00	P	6.8738		
	1050.0	P5	0.13162E+06		

		VELOCITIES AND ANGLES			
V/VCR)1	0.55000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.56425
W/WCR)4	0.32750	W/WCR)5	0.32136	VU/VCR)3	0.54007
VU/VCR)1	0.52446	ALPHA-2	73.286	VR/VCR)3	0.16340
WU/WCR)4	-0.27423	WX/WCR)5	0.16754	W/WCR)3	0.28623
VR/VCR)1	0.16566	ALPHA-3	73.166	WU/WCR)3	0.23133
WX/WCR)4	0.17904	V/VCR)5	0.19065	WR/WCR)3	0.16857
V/VCR)0	0.46034E-01	BETA-3	53.919		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.88306E-01		
V/VCR)2	0.54759	I-3	63.788		
BETA-5	-58.578	VX/VCR)5	0.16897		
VR/VCR)2	0.15749	VCR)3	376.71		
VCR)5	358.80	AL PHA-5	-27.592		

		OVERALL PERFORMANCE			
EQ-W	0.20532	EQ-PO,/P5	1.3645	PO, /P5	1.4062 WT/P
	0.62053		0.31617	NU	0.44233
EQ-DEL-H	17915.	ETA-S	0.72831	NS	0.64510E-02 N/T
DEL-H/T	23.021	DEL-H	26346.		
EQ-N	247.38	ETA-T	0.77710		
	8.8680		1.8612		
EQ-TOR	141.98	EQ-PO,/P5	1.3370	PO,/P5,	1.3744
TOR/P	1538.3	TOR	265.15	WN/DEL	50.791 T5
N	300.00	P	8.3299		
	1038.2	P5	0.12541E+06		

		VELOCITIES AND ANGLES			
V/VCR)1	0.60000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.61562
W/WCR)4	0.36802	W/WCR)5	0.36107	VU/VCR)3	0.58917
VU/VCR)1	0.57214	ALPHA-2	73.289	VR/VCR)3	0.17851
WU/WCR)4	-0.30815	WX/WCR)5	0.18818	W/WCR)3	0.33818
VR/VCR)1	0.18072	ALPHA-3	73.144	WU/WCR)3	0.28315
WX/WCR)4	0.20119	V/VCR)5	0.22584	WR/WCR)3	0.18491
V/VCR)0	0.49058E-01	BETA-3	56.853		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.12192		
V/VCR)2	0.59736	I-3	65.901		
BETA-5	-58.589	VX/VCR)5	0.19010		
VR/VCR)2	0.17177	VCR)3	376.71		
VCR)5	356.70	AL PHA-5	-32.674		

		OVERALL PERFORMANCE			
EQ-W	0.21878	EQ-PO,/P5	1.4440	PO, /P5	1.4989 WT/P
	0.66121		0.33690	NU	0.40846
EQ-DEL-H	19953.	ETA-S	0.69170	NS	0.61064E-02 N/T
DEL-H/T	25.640	DEL-H	29344.		
EQ-N	247.38	ETA-T	0.74657		
	8.8680		2.0730		
EQ-TOR	168.51	EQ-PO,/P5	1.4036	PO,/P5,	1.4516
TOR/P	1825.6	TOR	314.68	WN/DEL	54.121 T5
N	300.00	P	9.8860		
	1026.1	P5	0.11874E+06		

		VELOCITIES AND ANGLES			
V/VCR)1	0.65000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.66701
W/WCR)4	0.41352	W/WCR)5	0.40565		

		TURBINE. OUT			
VU/VCR)1	0.61981	ALPHA-2	73.293	VU/VCR)3	0.63827
WU/WCR)4	-0.34625	WX/WCR)5	0.21133	VR/VCR)3	0.19369
VR/VCR)1	0.19578	ALPHA-3	73.119	W/WCR)3	0.39127
WX/WCR)4	0.22606	V/VCR)5	0.26705	WU/WCR)3	0.33541
V/VCR)0	0.51788E-01	BETA-3	59.007	WR/WCR)3	0.20148
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.15990	OVERALL PERFORMANCE	
V/VCR)2	0.64713	I-3	67.356	PO, /P5	1.6158 WT/P
BETA-5	-58.603	VX/VCR)5	0.21388	NU	0.37788
VR/VCR)2	0.18603	VCR)3	376.71	NS	0.58040E-02 N/T
VCR)5	354.53	ALPHA-5	-36.782	PO, /P5,	1.5447
EQ-W		EQ-PO, /P5	1.5422	WN/DEL	57.128 T5
0.69794	W	0.35562		VELOCITIES AND ANGLES	
EQ-DEL-H	22056.	ETA-S	0.65442	V/VCR)3	0.71843
DEL-H/T	28.342	DEL-H	32436.	VU/VCR)3	0.68737
EQ-N	247.38	ETA-T	0.71583	VR/VCR)3	0.20896
8.8680	W.F.	2.2914		W/WCR)3	0.44529
EQ-TOR	196.61	EQ-PO, /P5	1.4827	WU/WCR)3	0.38811
TOR/P	2130.1	TOR	367.16	WR/WCR)3	0.21828
N	300.00	P	11.535	OVERALL PERFORMANCE	
1013.6	P5	0.11158E+06		PO, /P5	1.7686 WT/P
V/VCR)1		ALPHA-1	72.470	NU	0.34970
W/WCR)4	0.46651	W/WCR)5	0.45754	NS	0.55401E-02 N/T
VU/VCR)1	0.66749	ALPHA-2	73.298	PO, /P5,	1.6599
WU/WCR)4	-0.39063	WX/WCR)5	0.23823	WN/DEL	59.789 T5
VR/VCR)1	0.21084	ALPHA-3	73.091	VELOCITIES AND ANGLES	
WX/WCR)4	0.25504	V/VCR)5	0.31652	V/VCR)3	0.76988
V/VCR)0	0.54206E-01	BETA-3	60.646	VU/VCR)3	0.73647
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.20444	VR/VCR)3	0.22434
V/VCR)2	0.69689	I-3	68.392	W/WCR)3	0.50011
BETA-5	-58.622	VX/VCR)5	0.24164	WU/WCR)3	0.44127
VR/VCR)2	0.20028	VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.23535
VCR)5	352.24	ALPHA-5	-40.233	OVERALL PERFORMANCE	
EQ-W		EQ-PO, /P5	1.6677	PO, /P5	1.9826 WT/P
0.73046	W	0.37218		NU	0.32270
EQ-DEL-H	24256.	ETA-S	0.61633	NS	0.53128E-02 N/T
DEL-H/T	31.169	DEL-H	35672.	PO, /P5,	1.8089
EQ-N	247.38	ETA-T	0.68503	VELOCITIES AND ANGLES	
8.8680	W.F.	2.5200		V/VCR)3	0.76988
EQ-TOR	226.30	EQ-PO, /P5	1.5788	VU/VCR)3	0.73647
TOR/P	2451.7	TOR	422.60	VR/VCR)3	0.22434
N	300.00	P	13.276	W/WCR)3	0.50011
1000.6	P5	0.10384E+06		WU/WCR)3	0.44127
V/VCR)1		ALPHA-1	72.470	WR/WCR)3	0.23535
W/WCR)4	0.53231	W/WCR)5	0.52192	OVERALL PERFORMANCE	
VU/VCR)1	0.71517	ALPHA-2	73.303	PO, /P5	1.9826 WT/P
WU/WCR)4	-0.44573	WX/WCR)5	0.27152	NU	0.32270
VR/VCR)1	0.22590	ALPHA-3	73.058	NS	0.53128E-02 N/T
WX/WCR)4	0.29101	V/VCR)5	0.37943	PO, /P5,	1.8089
V/VCR)0	0.56293E-01	BETA-3	61.927	VELOCITIES AND ANGLES	
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.26020	V/VCR)3	0.76988
V/VCR)2	0.74665	I-3	69.148	VU/VCR)3	0.73647
BETA-5	-58.651	VX/VCR)5	0.27616	VR/VCR)3	0.22434
VR/VCR)2	0.21452	VCR)3	376.71	W/WCR)3	0.50011
VCR)5	349.76	ALPHA-5	-43.296	WU/WCR)3	0.44127
EQ-W		EQ-PO, /P5	1.8382	WR/WCR)3	0.23535
0.75851	W	0.38648		OVERALL PERFORMANCE	
EQ-DEL-H	26625.	ETA-S	0.57609	PO, /P5	1.9826 WT/P
DEL-H/T	34.214	DEL-H	39155.	NU	0.32270
EQ-N	247.38	ETA-T	0.65358	NS	0.53128E-02 N/T
8.8680	W.F.	2.7661		PO, /P5,	1.8089
EQ-TOR	257.94	EQ-PO, /P5	1.7003	VELOCITIES AND ANGLES	

TOR/P	2794.5	TOR	TURBINE.OUT			
N	300.00	P	481.69			
	986.55	P5	15.133	WN/DEL	62.085	T5
			95287.			
NASA RADIAL INFLOW TURBINE COMPUTER PROGRAM						
12.62-CM DIA						
30 PERCENT						
GAMMA	1.6667	P0,	0.17237E+06	A1	0.38008E-02	ALPHA-1
72.470	BETA-4	-56.860	PD	0.98783		
R	99.198	T0,	1144.4	A3	0.39789E-02	BL1
0.95168	BL4	0.93718	K	0.28699		
D3	12.624	A0	0.12018E-01	A5	0.44543E-02	U3
71.386	U4/U3	0.56776	ZZ	22.000		

VELOCITIES AND ANGLES

V/VCR)1	0.30000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.30765
W/WCR)4	0.16068	W/WCR)5	0.15772		
VU/VCR)1	0.28607	ALPHA-2	73.273	VU/VCR)3	0.29459
WU/WCR)4	-0.13454	WX/WCR)5	0.82294E-01		
VR/VCR)1	0.90362E-01	ALPHA-3	73.240	VR/VCR)3	0.88714E-01
WX/WCR)4	0.87842E-01	V/VCR)5	0.86367E-01		
V/VCR)0	0.27291E-01	BETA-3	49.829	W/WCR)3	0.13885
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.25637E-01		
V/VCR)2	0.29871	I-3	60.711	WU/WCR)3	0.10610
BETA-5	-58.548	VX/VCR)5	0.82474E-01		
VR/VCR)2	0.85970E-01	VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.89566E-01
VCR)5	371.15	AL PHA-5	-17.268		

OVERALL PERFORMANCE

EQ-W	0.12178	EQ-PO,/P5	1.1020	PO,/P5	1.1105	WT/P
	0.36806	W	0.18754			
EQ-DEL-H	5648.9	ETA-S	0.71287	NU	0.46759	
DEL-H/T	7.2590	DEL-H	8307.5			
EQ-N	148.43	ETA-T	0.74540	NS	0.63351E-02	N/T
	5.3208	W.F.	1.6302			
EQ-TOR	44.259	EQ-PO,/P5	1.0973	PO,/P5,	1.1053	
TOR/P	479.51	TOR	82.652			
N	180.00	P	1.5580	WN/DEL	18.076	T5
	1110.9	P5	0.15594E+06			

VELOCITIES AND ANGLES

V/VCR)1	0.35000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.35895
W/WCR)4	0.18970	W/WCR)5	0.18619		
VU/VCR)1	0.33375	ALPHA-2	73.275	VU/VCR)3	0.34368
WU/WCR)4	-0.15884	WX/WCR)5	0.97143E-01		
VR/VCR)1	0.10542	ALPHA-3	73.230	VR/VCR)3	0.10357
WX/WCR)4	0.10371	V/VCR)5	0.10939		
V/VCR)0	0.31446E-01	BETA-3	56.110	W/WCR)3	0.18797
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.49761E-01		
V/VCR)2	0.34849	I-3	65.461	WU/WCR)3	0.15604
BETA-5	-58.551	VX/VCR)5	0.97421E-01		
VR/VCR)2	0.10029	VCR)3	376.71	WR/WCR)3	0.10481
VCR)5	370.02	AL PHA-5	-27.057		

OVERALL PERFORMANCE

EQ-W	0.14031	EQ-PO,/P5	1.1319	PO,/P5	1.1433	WT/P
	0.42406	W	0.21607			
EQ-DEL-H	6791.9	ETA-S	0.67469	NU	0.41486	
DEL-H/T	8.7278	DEL-H	9988.4			
EQ-N	148.43	ETA-T	0.71360	NS	0.57948E-02	N/T
	5.3208	W.F.	1.9601			
EQ-TOR	61.311	EQ-PO,/P5	1.1241	PO,/P5,	1.1348	
TOR/P	664.25	TOR	114.50			
N	180.00	P	2.1582	WN/DEL	20.826	T5
	1104.2	P5	0.15190E+06			

VELOCITIES AND ANGLES

V/VCR)1	0.40000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.41026
W/WCR)4	0.21998	W/WCR)5	0.21590		
VU/VCR)1	0.38142	ALPHA-2	73.277	VU/VCR)3	0.39278
WU/WCR)4	-0.18420	WX/WCR)5	0.11263		

TURBINE.OUT

VR/VCR)1	0.12048	ALPHA-3	73.217	VR/VCR)3	0.11846	
WX/WCR)4	0.12026	V/VCR)5	0.13564	W/WCR)3	0.23867	
V/VCR)0	0.35422E-01	BETA-3	59.769	WU/WCR)3	0.20621	
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.74976E-01	WR/WCR)3	0.12017	
V/VCR)2	0.39827	I-3	67.962	OVERALL PERFORMANCE		
BETA-5	-58.556	VX/VCR)5	0.11303	PO, /P5	1.1833	WT/P
VR/VCR)2	0.11460	VCR)3	376.71	NU	0.37134	
VCR)5	368.87	AL PHA-5	-33.557	NS	0.53277E-02	N/T
EQ-W	0.15803	EQ-PO, /P5	1.1680	PO, /P5,	1.1697	
0.47763	W	0.24336		WN/DEL	23.457	T5
EQ-DEL-H	7944.5	ETA-S	0.63229	VELOCITIES AND ANGLES		
DEL-H/T	10.209	DEL-H	11683.	V/VCR)3	0.46157	
EQ-N	148.43	ETA-T	0.67723	VU/VCR)3	0.44188	
5.3208	W.F.	2.2927		VR/VCR)3	0.13339	
EQ-TOR	80.773	EQ-PO, /P5	1.1558	W/WCR)3	0.29028	
TOR/P	875.11	TOR	150.84	WU/WCR)3	0.25664	
N	180.00	P	2.8433	WR/WCR)3	0.13564	
1097.3	P5	0.14736E+06		OVERALL PERFORMANCE		

V/VCR)1	0.45000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.46157	
W/WCR)4	0.25186	W/WCR)5	0.24718	VU/VCR)3	0.44188	
VU/VCR)1	0.42910	ALPHA-2	73.280	VR/VCR)3	0.13339	
WU/WCR)4	-0.21089	WX/WCR)5	0.12893	W/WCR)3	0.29028	
VR/VCR)1	0.13554	ALPHA-3	73.203	WU/WCR)3	0.25664	
WX/WCR)4	0.13769	V/VCR)5	0.16457	WR/WCR)3	0.13564	
V/VCR)0	0.39194E-01	BETA-3	62.142	OVERALL PERFORMANCE		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.10158	PO, /P5	1.2318	WT/P
V/VCR)2	0.44805	I-3	69.429	NU	0.33500	
BETA-5	-58.561	VX/VCR)5	0.12948	NS	0.49261E-02	N/T
VR/VCR)2	0.12890	VCR)3	376.71	PO, /P5,	1.2110	
VCR)5	367.71	AL PHA-5	-38.115	WN/DEL	25.952	T5
EQ-W	0.17485	EQ-PO, /P5	1.2115	VELOCITIES AND ANGLES		
0.52844	W	0.26925		V/VCR)3	0.51290	
EQ-DEL-H	9109.5	ETA-S	0.59005	VU/VCR)3	0.49098	
DEL-H/T	11.706	DEL-H	13397.	VR/VCR)3	0.14837	
EQ-N	148.43	ETA-T	0.64025	W/WCR)3	0.34250	
5.3208	W.F.	2.6289		WU/WCR)3	0.30730	
EQ-TOR	102.47	EQ-PO, /P5	1.1929	WR/WCR)3	0.15123	
TOR/P	1110.2	TOR	191.36	OVERALL PERFORMANCE		
N	180.00	P	3.6071	PO, /P5	1.2905	WT/P
1090.4	P5	0.14233E+06		NU	0.30424	

V/VCR)1	0.50000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.51290	
W/WCR)4	0.28582	W/WCR)5	0.28048	VU/VCR)3	0.49098	
VU/VCR)1	0.47678	ALPHA-2	73.282	VR/VCR)3	0.14837	
WU/WCR)4	-0.23932	WX/WCR)5	0.14627	W/WCR)3	0.34250	
VR/VCR)1	0.15060	ALPHA-3	73.186	WU/WCR)3	0.30730	
WX/WCR)4	0.15625	V/VCR)5	0.19623	WR/WCR)3	0.15123	
V/VCR)0	0.42739E-01	BETA-3	63.797	OVERALL PERFORMANCE		
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.12997	PO, /P5	1.2905	WT/P
V/VCR)2	0.49782	I-3	70.354	NU	0.30424	
BETA-5	-58.568	VX/VCR)5	0.14701	NS	0.45807E-02	N/T
VR/VCR)2	0.14320	VCR)3	376.71	PO, /P5,	1.2597	
VCR)5	366.53	AL PHA-5	-41.478	WN/DEL	28.296	T5
EQ-W	0.19064	EQ-PO, /P5	1.2636	VELOCITIES AND ANGLES		
0.57617	W	0.29357		V/VCR)3	0.51290	
EQ-DEL-H	10291.	ETA-S	0.54977	VU/VCR)3	0.49098	
DEL-H/T	13.224	DEL-H	15134.	VR/VCR)3	0.14837	
EQ-N	148.43	ETA-T	0.60447	W/WCR)3	0.34250	
5.3208	W.F.	2.9698		WU/WCR)3	0.30730	
EQ-TOR	126.21	EQ-PO, /P5	1.2363	WR/WCR)3	0.15123	
TOR/P	1367.4	TOR	235.70	OVERALL PERFORMANCE		
N	180.00	P	4.4429	PO, /P5	1.2905	WT/P

1083.4 P5 TURBINE.OUT  
0.13683E+06

V/VCR)1	0.55000	ALPHA-1	72.470
W/WCR)4	0.32247	W/WCR)5	0.31642
VU/VCR)1	0.52446	ALPHA-2	73.286
WU/WCR)4	-0.27001	WX/WCR)5	0.16497
VR/VCR)1	0.16566	ALPHA-3	73.166
WX/WCR)4	0.17629	V/VCR)5	0.23100
V/VCR)0	0.46034E-01	BETA-3	65.010
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.16068
V/VCR)2	0.54759	I-3	70.968
BETA-5	-58.577	VX/VCR)5	0.16596
VR/VCR)2	0.15749	VCR)3	376.71
VCR)5	365.32	ALPHA-5	-44.075

VELOCITIES AND ANGLES  
V/VCR)3 0.56425

VU/VCR)3 0.54007

VR/VCR)3 0.16340

W/WCR)3 0.39521

WU/WCR)3 0.35821

WR/WCR)3 0.16696

OVERALL PERFORMANCE  
PO, /P5 1.3623 WT/P

NU 0.27781

NS 0.42830E-02 N/T

PO, /P5, 1.3173

WN/DEL 30.475 T5

EQ-W	0.20532	EQ-PO, /P5	1.3265
0.62053 W		0.31617	
EQ-DEL-H	11493.	ETA-S	0.51200
DEL-H/T	14.769	DEL-H	16903.
EQ-N	148.43	ETA-T	0.57061
5.3208 W.F.		3.3169	
EQ-TOR	151.82	EQ-PO, /P5	1.2871
TOR/P	1644.8	TOR	283.51
N	180.00	P	5.3441
1076.3 P5		0.13085E+06	

VELOCITIES AND ANGLES  
V/VCR)3 0.61562

VU/VCR)3 0.58917

VR/VCR)3 0.17851

W/WCR)3 0.44835

WU/WCR)3 0.40938

WR/WCR)3 0.18284

OVERALL PERFORMANCE  
PO, /P5 1.4509 WT/P

NU 0.25475

NS 0.40258E-02 N/T

PO, /P5, 1.3859

WN/DEL 32.473 T5

EQ-W	0.21878	EQ-PO, /P5	1.4030
0.66121 W		0.33690	
EQ-DEL-H	12725.	ETA-S	0.47666
DEL-H/T	16.352	DEL-H	18714.
EQ-N	148.43	ETA-T	0.53882
5.3208 W.F.		3.6724	
EQ-TOR	179.11	EQ-PO, /P5	1.3470
TOR/P	1940.5	TOR	334.48
N	180.00	P	6.3048
1069.0 P5		0.12437E+06	

VELOCITIES AND ANGLES  
V/VCR)3 0.66701

VU/VCR)3 0.63827

VR/VCR)3 0.19369

W/WCR)3 0.50188

WU/WCR)3 0.46079

WR/WCR)3 0.19888

OVERALL PERFORMANCE  
PO, /P5 1.5631 WT/P

V/VCR)1	0.65000	ALPHA-1	72.470
W/WCR)4	0.40814	W/WCR)5	0.40038
VU/VCR)1	0.61981	ALPHA-2	73.293
WU/WCR)4	-0.34175	WX/WCR)5	0.20860
VR/VCR)1	0.19578	ALPHA-3	73.119
WX/WCR)4	0.22313	V/VCR)5	0.31369
V/VCR)0	0.51788E-01	BETA-3	66.655
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.23278
V/VCR)2	0.64713	I-3	71.687
BETA-5	-58.601	VX/VCR)5	0.21027
VR/VCR)2	0.18603	VCR)3	376.71
VCR)5	362.79	ALPHA-5	-47.908

EQ-W	0.23093	EQ-PO, /P5	1.4982
0.69794 W		0.35562	

			TURBINE.OUT			
EQ-DEL-H	13999.	ETA-S	0.44331	NU	0.23424	
DEL-H/T	17.988	DEL-H	20587.			
EQ-N	148.43	ETA-T	0.50892	NS	0.38031E-02	N/T
	5.3208	W.F.	4.0398			
EQ-TOR	207.98	EQ-PO,/P5	1.4183	PO,/P5,	1.4688	
TOR/P	2253.2	TOR	388.39			
N	180.00	P	7.3210	WN/DEL	34.277	T5
	1061.4	P5	0.11736E+06			
				VELOCITIES AND ANGLES		
V/VCR)1	0.70000	ALPHA-1	72.470	V/VCR)3	0.71843	
W/WCR)4	0.46130	W/WCR)5	0.45244	VU/VCR)3	0.68737	
VU/VCR)1	0.66749	ALPHA-2	73.298	VR/VCR)3	0.20896	
WU/WCR)4	-0.38626	WX/WCR)5	0.23559	W/WCR)3	0.55577	
VR/VCR)1	0.21084	ALPHA-3	73.091	WU/WCR)3	0.51246	
WX/WCR)4	0.25219	V/VCR)5	0.36561	WR/WCR)3	0.21508	
V/VCR)0	0.54206E-01	BETA-3	67.232			
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.27772	OVERALL PERFORMANCE		
V/VCR)2	0.69689	I-3	71.898	PO, /P5	1.7108	WT/P
BETA-5	-58.620	VX/VCR)5	0.23778	NU	0.21552	
VR/VCR)2	0.20028	VCR)3	376.71	NS	0.36106E-02	N/T
VCR)5	361.43	ALPHA-5	-49.430	PO,/P5,	1.5714	
				WN/DEL	35.874	T5
EQ-W	0.24169	EQ-PO,/P5	1.6206			
	0.73046	W	0.37218	VELOCITIES AND ANGLES		
EQ-DEL-H	15335.	ETA-S	0.41113	V/VCR)3	0.76988	
DEL-H/T	19.706	DEL-H	22553.	VU/VCR)3	0.73647	
EQ-N	148.43	ETA-T	0.48046	VR/VCR)3	0.22434	
	5.3208	W.F.	4.4256	W/WCR)3	0.61002	
EQ-TOR	238.45	EQ-PO,/P5	1.5051	WU/WCR)3	0.56439	
TOR/P	2583.4	TOR	445.30	WR/WCR)3	0.23149	
N	180.00	P	8.3937	OVERALL PERFORMANCE		
	1053.5	P5	0.10969E+06	PO, /P5	1.9206	WT/P
				NU	0.19767	
V/VCR)1	0.75000	ALPHA-1	72.470	NS	0.34452E-02	N/T
W/WCR)4	0.52807	W/WCR)5	0.51777	PO,/P5,	1.7051	
VU/VCR)1	0.71517	ALPHA-2	73.303	WN/DEL	37.251	T5
WU/WCR)4	-0.44217	WX/WCR)5	0.26938			
VR/VCR)1	0.22590	ALPHA-3	73.058			
WX/WCR)4	0.28869	V/VCR)5	0.43127			
V/VCR)0	0.56293E-01	BETA-3	67.699			
BETA-4	-56.860	VU/VCR)5	-0.33441			
V/VCR)2	0.74665	I-3	72.046			
BETA-5	-58.649	VX/VCR)5	0.27233			
VR/VCR)2	0.21452	VCR)3	376.71			
VCR)5	359.95	ALPHA-5	-50.842			
EQ-W	0.25097	EQ-PO,/P5	1.7894			
	0.75851	W	0.38648			
EQ-DEL-H	16784.	ETA-S	0.37853			
DEL-H/T	21.568	DEL-H	24683.			
EQ-N	148.43	ETA-T	0.45250			
	5.3208	W.F.	4.8438			
EQ-TOR	271.00	EQ-PO,/P5	1.6159			
TOR/P	2936.1	TOR	506.09			
N	180.00	P	9.5396			
	1044.9	P5	0.10109E+06			