



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
La République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'Enseignement Supérieur & la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد بن باديس – مستغانم
Université Abdel Hamid Ben Badis – Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الهندسة الميكانيكية
Département Génie Mécanique



N° d'ordre : M...../GM/2019

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

ETUDE DES CYCLES DE PUISSANCE A DEUX PHASES

Présenté par :

- ❖ SEREIR Boumediene
- ❖ MERSALI Mohammed

Soutenu le 25/09/2019 devant le jury composé de :

Président	MEDJAHED Bendida	M.C.B.- UMAB
Examineur	KHALDI Abdelaziz	M.C.B.- UMAB
Encadreur	FLITTI Abdelmadjid	M.C.B.- UMAB

Année Universitaire : 2018 / 2019

RÉSUMÉ

Les turbines à vapeur font partie des machines les plus utilisées dans la production de l'énergie utile. Ces machines thermiques fonctionnent suivant les cycles de puissance à deux phases. Par conséquent, l'étude des cycles constitue l'épine dorsale d'une exploitation rationnelle de ces machines. Ce travail, à intérêt purement pédagogique, présente une contribution à l'étude de ces cycles.

Dans le cadre de ce travail, on a pu réaliser quatre programmes et deux fonctions Matlab qui permettent de tracer le diagramme entropique et de calculer le bilan énergétique des cycles suivants : Cycle de Rankine, Cycle à resurchauffe, cycle à un soutirage et cycle à deux soutirages. Les tables thermodynamiques, habituellement utilisées dans ces calculs, sont implantées dans ces programmes.

Mots clés : *Cycle, Rankine, Hirn, Resurchauffe, soutirage, vapeur et rendement thermique.*

ملخص

تعتبر التوربينات (العنفات) البخارية من أكثر الآلات المستخدمة في إنتاج الطاقة المفيدة. تعمل هذه الآلات الحرارية وفقاً لدورات القدرة ثنائية الطور. لذلك، فإن دراسة هذه الدورات تمثل العمود الفقري للاستغلال الرشيد لهذه الآلات. يقدم هذا العمل، ذي الأهمية التعليمية البحتة، مساهمة في دراسة هذه الدورات.

في إطار هذا العمل، تم إنشاء أربعة برامج ووظيفتين بلغة الماتلاب تسمح برسم منحنى درجة الحرارة والإنتروبي وحساب الموازنة الطاقوية للدورات التالية: دورة رانكن ودورة إعادة التسخين ودورة الاستنزاف الواحد (مسخن ماء التغذية المفتوح) ودورة الاستنزافين (مسخني ماء التغذية المفتوحين). جداول الديناميكا الحرارية، المستخدمة عادة في هذه الحسابات، تم دمجها في هذه البرامج.

كلمات مفتاحية: دورة رانكن وهيرن وإعادة التسخين والاستنزاف والبخار والكفاءة الحرارية.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à notre cher encadreur, Docteur **FLITTI Abdelmadjid**, enseignant chercheur au département du Génie Mécanique de la faculté de sciences et de technologie de l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem pour sa patience, sa disponibilité, sa rigueur scientifique et surtout ses conseils judicieux qui ont alimenté notre réflexion.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance au Docteur **MEDJAHED Bendida** pour avoir accepté de présider le jury de notre projet de fin d'études.

Nous remercions, très vivement, Docteur **KHALDI Abdelaziz** de l'honneur qu'il nous fait en acceptant de juger notre travail.

Nous désirons aussi remercier l'ensemble du corps professoral du département du Génie Mécanique pour leur écoute et encadrement durant tous notre cursus.

Dédicaces

Nous avons toujours pensé faire ou offrir quelque chose à nos parents en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils n'ont consenti rien que pour nous voir réussir, et voilà, l'occasion est venue.

A ceux qui nous ont donné la vie, symbole de beauté, et de fierté, de sagesse et de patience.

A ceux qui sont la source de notre inspiration et de notre courage, à ceux qui nous doivent de l'amour et de la reconnaissance.

A nos très chères mères et pères.

A nos frères et nos Sœurs.

A nos nièces et neveux

A tous les membres de nos familles

A nos amis, et toutes les personnes qui nous ont connus de près ou de loin.

Et spéciales dédicaces pour l'équipe de formation de l'université.

A tous mes amis d'université de Mostaganem surtout le groupe de génie mécanique énergétique.

Mersali Mohammed.

Sereir Boummédiène.

LISTES DES FIGURES

Chapitre 1 : Généralités sur les turbines à vapeur

Figure 1.1 : la turbine à gaz	3
Figure 1.2 : la turbine à vapeur	4
Figure 1.3 : étages d'une turbine à vapeur	5
Figure 1.4 : schéma d'une turbine à vapeur	6

Chapitre 2 : Les cycles de puissances à deux phases

Figure 2.1 : Schéma d'un cycle de Rankine	8
Figure 2.2 : diagramme T.S de cycle de Rankine	9
Figure 2.3 : diagramme T.S de cycle de Hirn	10
Figure 2.4 : L'effet des irréversibilités sur le cycle idéal de Rankine	11
Figure 2.5 : schéma de cycle à resurchauffe	12
Figure 2.6 : Le cycle de Rankine à resurchauffe	12
Figure 2.7 : schéma de cycle de Rankine à soutirage	14
Figure 2.8 : Diagramme T-s du cycle à un soutirage de vapeur	14

Chapitre 3 : Présentation des programmes élaborés

Figure 3.1 : Programme 1 après la saisie des données.	18
Figure 3.2 : organigramme du cycle de Rankine.	20
Figure 3.3 : solution de l'exemple 1 affichée par le programme	21
Figure 3.4 : diagramme $T-s$ de l'exemple 1	21
Figure 3.5 : solution de l'exemple 2 affichée par le programme 1.	22
Figure 3.6 : diagramme $T-s$ de l'exemple 2	22
Figure 3.7 : solution de l'exemple affichée par le programme 2	23

Figure 3.8 : organigramme du cycle à resurchauffe	25
Figure 3.9 : diagramme <i>T-s</i> de l'exemple 3	26
Figure 3.10 : organigramme du cycle à un soutirage	28
Figure 3.11 : solution de l'exemple 4 affichée par le programme 3.	29
Figure 3.12 : diagramme <i>T-s</i> de l'exemple 4.	29
Figure 3.13 : schéma du cycle de Rankine à deux soutirages.	30
Figure 3.14 : organigramme de cycle à deux soutirages.	32
Figure 3.15 : solution de l'exemple5 affichée par le programme 4.	33
Figure 3.16 : diagramme <i>T-s</i> de l'exemple 5.	33

SOMMAIRE

Introduction générale	1
 Chapitre 1 : Généralités sur les turbines à vapeur	
1.1. Introduction	2
1.2. La turbine à gaz	2
1.3. La turbine à vapeur	3
1.4. Les composantes d'une turbine à vapeur	5
1.4.1. La pompe	5
1.4.2. La chaudière	6
1.4.3. La turbine	6
1.4.4. Le condenseur	7
 Chapitre 2 : Les cycles de puissances à deux phases	
2.1. Cycle de Rankine	8
2.2. Cycle de Hirn	10
2.3. L'effet des irréversibilités sur le cycle de Rankine	10
2.4. Cycle Rankine à resurchauffe	11
2.5. Cycle de Rankine à un soutirage	13
 Chapitre 3 : Présentation des programmes élaborés	
3.1. Introduction	17
3.2. Programme élaboré pour le cycle de Rankine	18
3.2.1. Présentation du programme	18
3.2.2. Exemples d'application	18
3.2.2.1. Exemple 1	18
3.2.2.2. Exemple 2	22
3.3. Programme élaboré pour le cycle de Rankine à resurchauffe	23
3.3.1. Présentation du programme	23

NOMENCLATURE

Symbole	Signification	Unités
Cd	Le condenseur	-
GV	Générateur de vapeur	-
h_{fi}	Enthalpie massique du liquide saturé à la pression P_i	kJ/kg
h_i	Enthalpie massique à l'état ' i '	kJ/kg
h_{gi}	Enthalpie massique de la vapeur saturée à la pression P_i	kJ/kg
M	Mélangeur	-
\dot{m}_r	Le débit massique de la vapeur restante	m^3/s
\dot{m}_t	Le débit massique total.	m^3/s
\dot{m}_{VS}	Le débit massique de la vapeur soutirée de la turbine	m^3/s
q_H	Quantité de chaleur fournie par la chaudière	kJ/kg
q_{Ha}	Quantité de chaleur réellement fournie par la chaudière	kJ/kg
P_i	La pression à l'état ' i '	kPa
s_{fi}	Entropie massique du liquide saturé à la pression P_i	$kJ/(K kg)$
s_i	Entropie massique à l'état ' i '	$kJ/(K kg)$
s_{gi}	Entropie massique de la vapeur saturée à la pression P_i	$kJ/(K kg)$
T_i	La Température à l'état ' i '	$^{\circ}C$
$T_{sat i}$	La température de saturation à la pression P_i	$^{\circ}C$
v_i	Volume spécifique à l'état ' i '	m^3/kg
w	Travail massique net	kJ/kg
w_a	Travail massique net réel	kJ/kg
w_P	Travail massique consommé par la pompe	kJ/kg
w_{Pa}	Travail massique réellement consommé par la pompe	kJ/kg
w_T	Travail massique fournie par la turbine	kJ/kg
w_{Ta}	Travail massique réellement fournie par la turbine	kJ/kg
η_{th}	Rendement thermique du cycle	-

INTRODUCTION GENERALE

Une turbine à gaz est une machine thermique (moteur) servant à la conversion de l'énergie thermique en énergie mécanique utile. Elle est, principalement, utilisée dans les centrales thermiques de production de l'électricité. Les enjeux mondiaux de l'énergie d'une part, et la satisfaction d'une demande de plus en plus aigüe de l'autre part imposent une exploitation rationnelle de ces machines. Par conséquent, l'étudiant du génie mécanique, option énergétique, doit avoir une connaissance parfaite de mode de fonctionnement de ces machines. L'étude des cycles thermodynamiques constitue la pierre angulaire de cette connaissance.

Dans ce cadre, ce travail a pour objectif d'élaborer des programmes qui permettent de calculer les bilans énergétiques des principaux cycles théoriques de puissance à deux phases. Ainsi, ce travail, à intérêt purement pédagogique, aide les enseignants des matières : « conversion d'énergie et machines thermiques » à préparer les fiches des travaux dirigés et à proposer des mini-projets qui permettent de mettre en évidence quelques notions importantes.

Ce travail est structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre donne un aperçu général sur les turbines à vapeur.
- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des principaux cycles des turbines à vapeur (cycle de Rankine, cycle à resurchauffe et cycle à soutirages),
- Le dernier chapitre est réservé à la présentation des programmes.

C H A P I T R E**1****G E N E R A L I T E S S U R****L E S T U R B I N E S A****V A P E U R**

1.1. Introduction

Une turbine est un dispositif rotatif à combustion externe. Permet de transformer l'énergie d'un fluide vers une énergie mécanique à partir d'un arbre que peut être utilisé au plusieurs domaine (production de l'électricité. alimenter une pompe...etc.).

Les centrales électriques utilisent, principalement, deux types de turbines couplées à un alternateur : les turbines à gaz et les turbines à vapeur.

1.2. La turbine à gaz

La turbine à gaz est une machine thermique qui appartient à la famille des moteurs à combustion interne. Elle permet de transférer l'énergie thermique en énergie mécanique par l'entraînement en rotation d'un arbre lui-même couplé à une machine industrielle ou à une hélice, ou bien de l'énergie cinétique par détente des gaz en sortie de la turbine dans une tuyère (Turbo réacteur).

Généralement, les turbines à gaz se répartissent en deux classes :

- les turbomoteurs fournissant de l'énergie mécanique disponible sur un arbre.
- les turboréacteurs fournissant de l'énergie cinétique utilisable pour la propulsion.

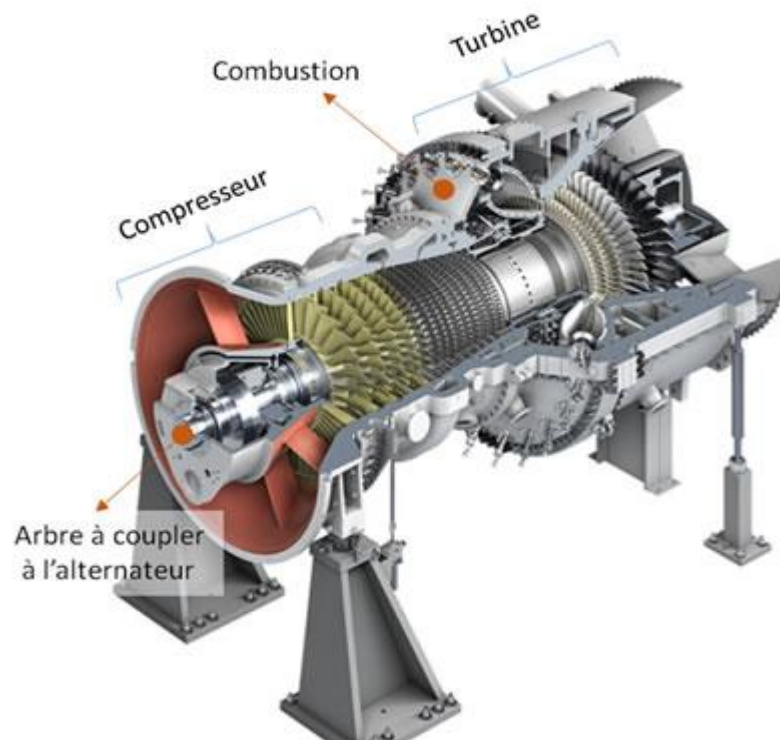


Figure 1.1 : la turbine à gaz [1].

La turbine à gaz peut être considérée comme un système autosuffisant. Le compresseur aspire et comprime l'air. L'air comprimé entre dans la chambre de combustion pour augmenter sa puissance énergétique, pour convertir, en suite, cette puissance en énergie mécanique utile pendant les processus de détente qui a lieu dans la section turbine. L'énergie mécanique qui en résulte est transmise par l'intermédiaire d'un accouplement à une machine réceptrice, qui produit la puissance utile pour le processus industriel [2].

1.3. La turbine à vapeur

Une turbine à vapeur est constituée d'un grand nombre de roues (une centaine pour un modèle de puissance) portant des ailettes. La vapeur sous pression traverse d'abord les roues de petit diamètre avant d'atteindre les roues de plus grand diamètre. La turbine tourne alors en entraînant l'alternateur qui lui est accouplé.

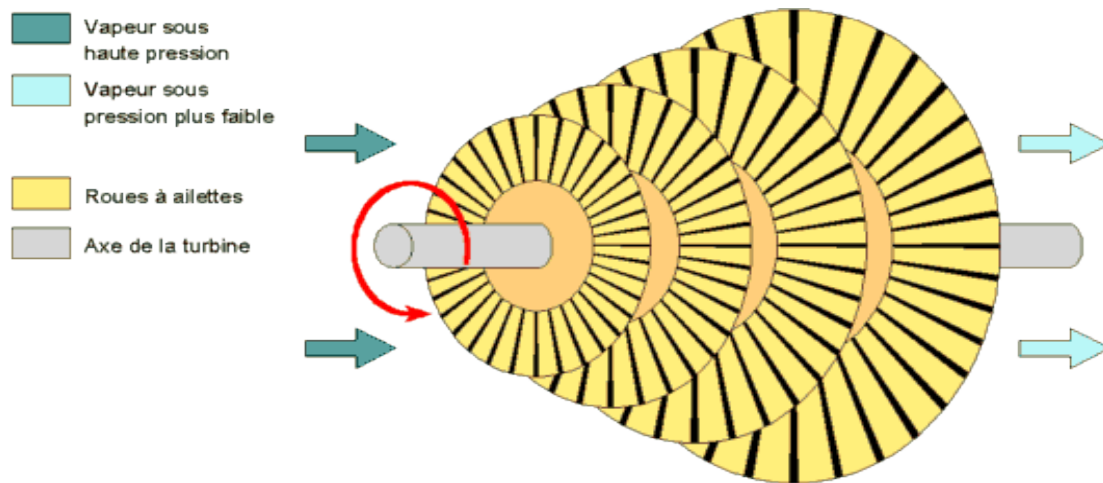


Figure 1.2 : la turbine à vapeur [3]

Elle est considérée comme un moteur à combustion externe, fonctionnant selon le cycle thermodynamique dit de Clausius-Rankine. Ce cycle se distingue par le changement d'état affectant le fluide moteur qui est en général de la vapeur d'eau. Ce cycle comprend au moins les étapes suivantes [3]:

- une pompe envoie l'eau sous pression vers la chaudière,
- en passant par la chaudière l'eau se vaporise,
- La vapeur d'eau est acheminée vers la turbine où elle se détend. Fournissant, ainsi, de l'énergie cinétique que la turbine convertit en énergie mécanique,
- La vapeur détendue, issue de la turbine, se condense au contact d'une source froide.

Le fluide utilisé est donc le même que celui de la machine à vapeur à pistons, mais la turbine en constitue une évolution exploitant les principaux avantages des turbomachines à savoir [3]:

- Puissance massique et puissance volumique élevées ;
- Rendement amélioré par la multiplication des étages de détente.
- Le rendement croît avec la pression de la vapeur et avec la température de surchauffe.

Cependant, l'augmentation de ces caractéristiques est limitée par la teneur en eau de la vapeur en fin de détente. En effet, la courbe de détente peut atteindre la courbe de saturation avec formation de gouttelettes qui nuisent à l'efficacité des derniers étages de détente. La teneur en eau liquide du mélange doit être limitée à 15 ou 20 pourcent, c'est la pression dans le condenseur qui fixe de ce fait les pressions et température limites admissibles [3].

La turbine à vapeur est l'aboutissement d'un type de machines thermiques introduit par les machines à vapeur à piston. Les contraintes inhérentes à leur conception restreignent généralement leur usage à l'industrie. Dans ce cas on obtient de l'électricité bon marché car l'énergie thermique n'est pas « gaspillée » dans un condenseur. On appelle ces turbines, « turbines à contrepression ».



Figure 1.3 : étages d'une turbine à vapeur [4].

1.4. Composantes d'une turbine à vapeur

Généralement, une turbine à vapeur contient quatre éléments principaux, et ces derniers défèrent d'une installation à une autre.

Les composants d'une turbine à vapeur sont :

1.4.1. La pompe

Les pompes sont des appareils qui génèrent une différence de pression entre le condenseur et la chaudière. Du point de vue physique, la pompe transforme l'énergie mécanique de son moteur d'entraînement en énergie hydraulique.

Le rôle de la pompe dans la TAV c'est :

- d'alimenter la chaudière de l'eau condensée précédemment par le condenseur.
- élever la pression de l'eau liquide.

1.4.2. La chaudière

Chaque turbine à vapeur utilise une chaudière pour transformer l'eau en vapeur. Une chaudière est simplement un grand réservoir d'eau avec des tuyaux débouchant dans et hors de celui-ci, et un élément chauffant. En substance, il est d'une grande bouilloire. Gaz, le pétrole, le bois, le charbon et les déchets municipaux sont des combustibles typiques brûlés pour chauffer l'eau. Les centrales nucléaires utilisent des générateurs de turbines à vapeur pour transformer la chaleur de la fission nucléaire en électricité.

Le rôle du générateur de vapeur est d'extraire l'énergie calorifique du combustible pour la céder à l'eau et produire de la vapeur à des paramètres fixés. Il constitue la source chaude du cycle thermodynamique. Cette vapeur sera utilisée par la turbine pour fournir de l'énergie mécanique [7].

1.4.3. La turbine

Après que l'eau est chauffé en vapeur, il quitte la chaudière par un tuyau renforcé et se déplace à la turbine. La turbine est un ensemble de filage de lames, angle pour attraper la vapeur entrant. La vapeur d'eau dans le tuyau est sous haute pression. Quand il entre dans la turbine plus spacieuse, il se dilate pour remplir l'espace disponible et accélère comme il se répand. Cela pousse contre les fans de la turbine, tournant sur son axe. Certains générateurs de turbines à vapeur ont une turbine, d'autres ont de multiples étages de turbines de différentes tailles, pour obtenir plus de travail hors de la vapeur. Il existe plusieurs styles différents de pale de turbine, chacun avec ses propres avantages et inconvénients.

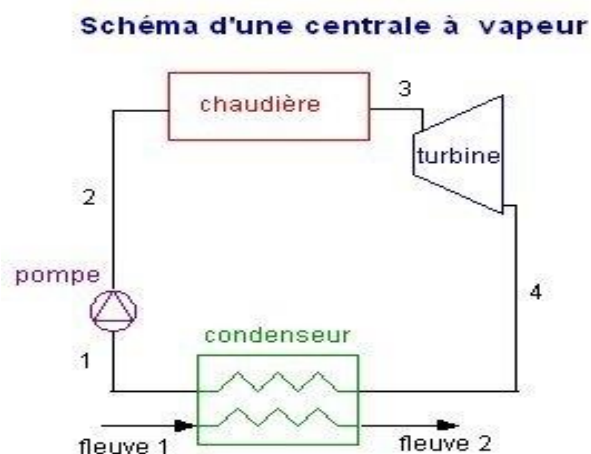


Figure 1.4 : schéma d'une turbine à vapeur [8].

1.4.4. Le condenseur

Afin de maximiser le rendement de la turbine à vapeur, la pression et la température de la sortie de vapeur doivent être aussi basses que possible. Pour cela, la vapeur qui sort de la turbine est dirigée vers le condenseur où elle est refroidie et condensée. Le condenseur est un échangeur de chaleur avec des milliers de tubes dans lesquels l'eau du circuit de refroidissement circule. La vapeur circule sur les tubes et se condense au contact de ceux-ci. L'eau du circuit de refroidissement extrait alors la chaleur de la vapeur [6].

CHAPITRE 2

CYCLES DE PUISSANCE A DEUX PHASES

2.1. Cycle de Rankine

Le cycle de Rankine peut être considéré comme le cycle de base des turbines à vapeur. Il est constitué par deux transformations isobares (Pression constante) et deux transformations isentropiques (entropie constant).

Un cycle classique de Rankine élémentaire comprend une pompe de circulation, une source de chaleur (générateur de vapeur, foyers, etc.), une turbine pour la conversion de l'énergie thermique en énergie cinétique de rotation, et un condenseur comme source froide [9].

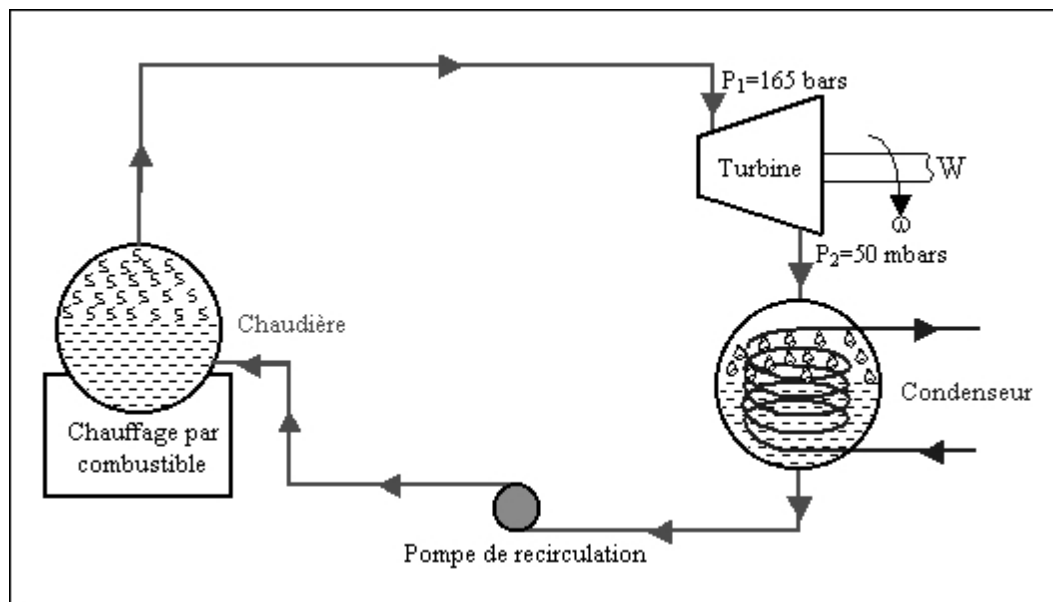


Figure 2.1 : Schéma d'un cycle de Rankine [9].

La chaudière produit de la vapeur saturée qui traverse la turbine où elle se détend avant de se condenser, puis l'eau condensée retourne à la chaudière à travers la pompe alimentaire.

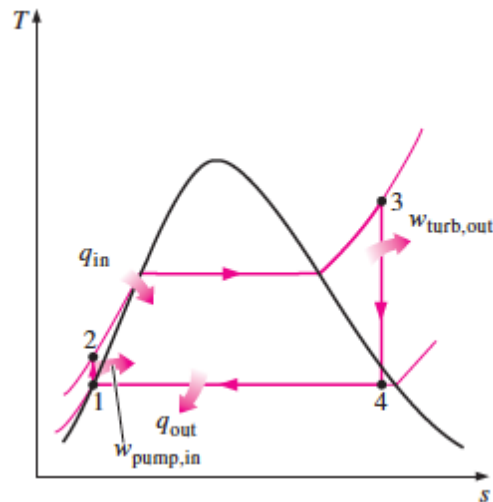


Figure 2.2 : diagramme T.S de cycle de Rankine [10].

Le cycle de Rankine élémentaire se compose des quatre évolutions suivantes :

- 1→2 : une compression isentropique dans la pompe,
- 2→3 : un apport de chaleur à pression constante dans la chaudière,
- 3→4 : une détente isentropique dans la turbine,
- 4→1 : une évacuation de chaleur à pression constante dans le condenseur.

Il est à signaler que dans plusieurs documents le point 3 (l'état 3 dans la figure 2.2) du cycle de Rankine élémentaire se trouve sur la courbe de rosée. Si la température T_3 est supérieure à la température de saturation à la pression P_3 le cycle est appelé, parfois, cycle de Rankine à surchauffe.

Le bilan énergétique du cycle s'établit comme suit :

- Travail consommé par la pompe :

$$w_p = h_2 - h_1 = v (P_2 - P_1) \quad (2.1)$$

Il est à noter que $(w_p = v (P_2 - P_1))$ résulte de l'hypothèse que le fluide est incompressible.

- La chaleur fournie par la chaudière :

$$q_H = h_3 - h_2 \quad (2.2)$$

- Le travail produit par la turbine :

$$w_t = h_4 - h_3 \quad (2.3)$$

- les irréversibilités dans la pompe et dans la turbine.
- les pertes de charges dans la chaudière, le condenseur et la tuyauterie entre les différents composants.

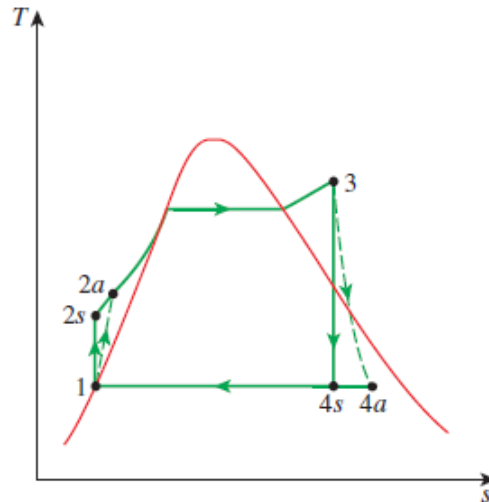


Figure 2.4 : L'effet des irréversibilités sur le cycle idéal de Rankine [10].

Afin de tenir compte des irréversibilités de la pompe et de la turbine (voir figure 2.4) on définit les deux coefficients suivants [10]:

- le rendement isentropique de la pompe η_P :

$$\eta_P = \frac{w_{Ps}}{w_{Pa}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \quad (2.7)$$

- le rendement isentropique de turbine η_T :

$$\eta_T = \frac{w_{Ta}}{w_{Ts}} = \frac{h_3 - h_{4a}}{h_3 - h_{4s}} \quad (2.8)$$

Dans les relations (2.7) et (2.8) l'indice a correspond aux états réels alors que l'indice s correspond aux états résultant d'une évolution isentropique.

2.4. Cycle Rankine à resurchauffe

Dans ce cas la détente isentropique se fait dans deux étages de la turbine (transformations isentropiques 3-4 et 5-6, Figure 2.6) entre lesquelles la vapeur subit une resurchauffe (transformation isobare 4-5). La resurchauffe accroît le taux de la vapeur dans la turbine et augmente de 4 à 5% le rendement thermique du cycle de Rankine [10].

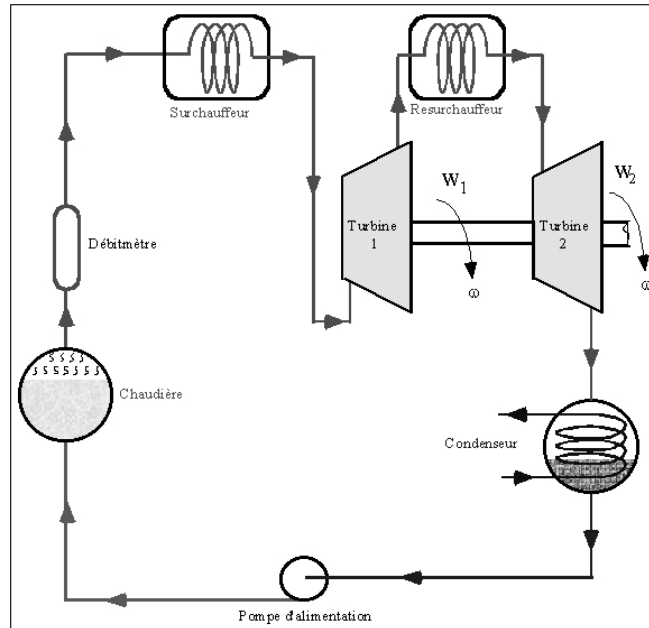


Figure 2.5 : schéma de cycle à resurchauffe [9].

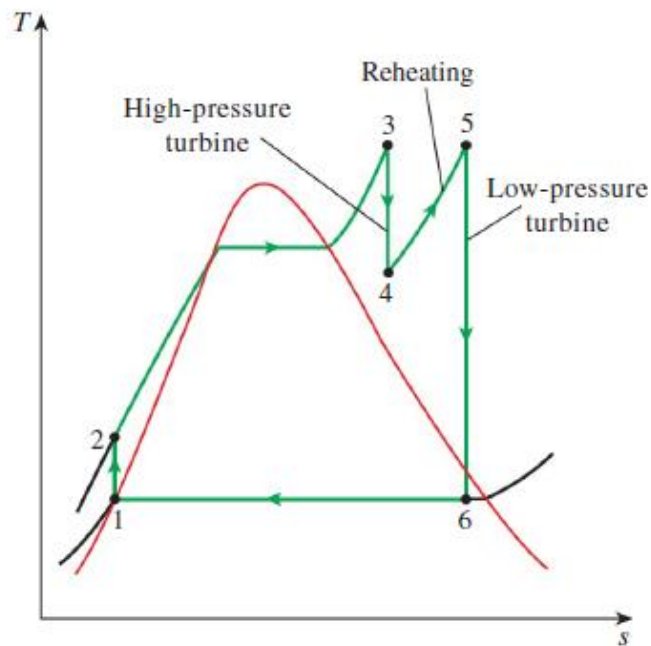


Figure 2.6 : Le cycle de Rankine à resurchauffe [10].

Le bilan énergétique pour chacun des composants est comme suit :

- le travail consommé par la pompe :

$$w_p = h_2 - h_1 = v (P_2 - P_1) \tag{2.9}$$

- la quantité de chaleur de surchauffe :

$$q_{H1} = h_3 - h_2 \quad (2.10)$$

- le travail fourni par le premier étage de la turbine (haute pression) :

$$w_{t1} = h_4 - h_3 \quad (2.11)$$

- la quantité de chaleur de Resurchauffe (dans le resurchauffeur) :

$$q_{H2} = h_5 - h_4 \quad (2.12)$$

- le travail fourni par le deuxième étage de la turbine (basse pression) :

$$w_{t2} = h_6 - h_5 \quad (2.13)$$

- la quantité de chaleur dégagée (condensateur) :

$$q_l = h_1 - h_6 \quad (2.14)$$

- Le travail net du cycle :

$$w = w_{t1} + w_{t2} + w_p = -(q_{H1} + q_{H2} + q_L) \quad (2.15)$$

- le rendement thermique du cycle à resurchauffe :

$$\eta_{th_R} = \frac{-w}{q_{H1} + q_{H2}} = 1 + \frac{q_L}{q_{H1} + q_{H2}} \quad (2.16)$$

2.5. Cycle de Rankine à un soutirage

Ce cycle, afin d'augmenter le rendement du cycle de Rankine avec surchauffe (c.-à-d. de Hirn), propose d'élever la température du liquide sortant de la pompe avant de l'admettre dans la chaudière [10]. Cette technique, appelée régénération (ou soutirage), consiste à soutirer une petite partie de la vapeur de la turbine puis à détourner cette partie dans un échangeur de chaleur, appelé « régénérateur », « réchauffeur » ou « mélangeur ». Le schéma de ce cycle est illustré par la figure 2.10. Ainsi, le soutirage c'est une opération permet de prélevé une fraction de vapeur dans la turbine à une pression intermédiaire que réchauffe de l'eau à la sortie de la pompe.

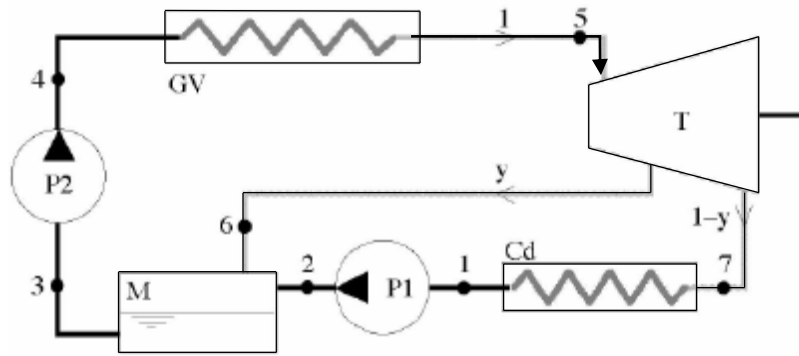


Figure 2.7 : schéma de cycle de Rankine à soutirage [13].

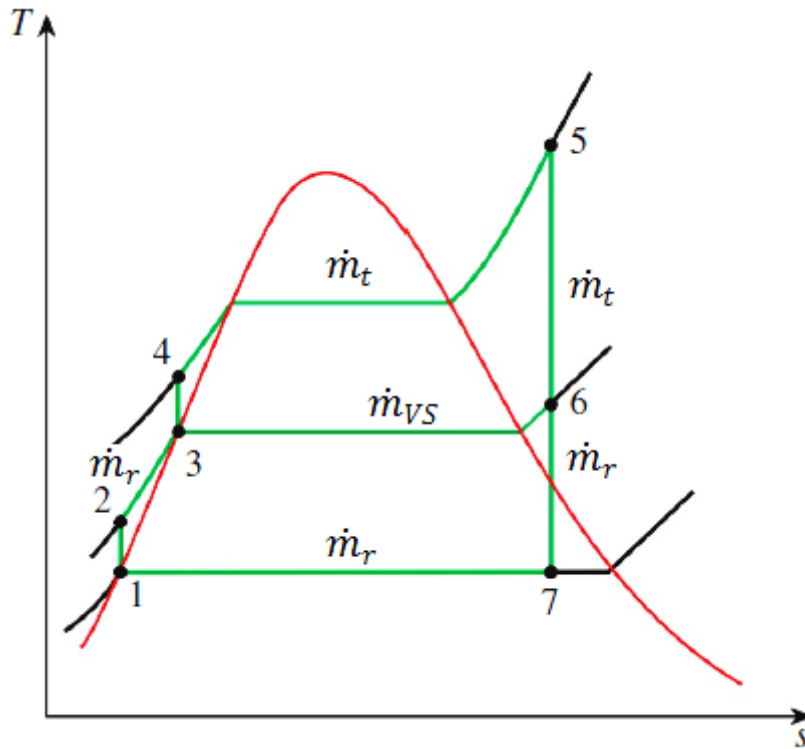


Figure 2.8 : Diagramme T-s du cycle à un soutirage de vapeur [10].

La conservation du débit massique à travers un volume de contrôle renfermant les deux étages de la turbine se traduit par la relation suivante [10]:

$$\dot{m}_{vS} + \dot{m}_r = \dot{m}_t \tag{2.17}$$

Où :

\dot{m}_{vS} : Le débit massique de la vapeur soutirée de la turbine,

\dot{m}_r : Le débit massique de la vapeur restante,

\dot{m}_t : Le débit massique total.

Si on note par y la fraction de vapeur soutirée de la turbine alors :

$$y = \frac{\dot{m}_{vS}}{\dot{m}_t} \quad (2.18)$$

La fraction du flux total restant de la turbine (la vapeur qui a subi la deuxième détente 6→7) est alors égale à $(1-y)$:

$$\frac{\dot{m}_r}{\dot{m}_t} = 1 - y \quad (2.19)$$

À l'état 3 l'eau est un liquide saturé, se traduit par la relation suivante :

$$y = \frac{h_3 - h_2}{h_6 - h_2} \quad (2.20)$$

Le bilan énergétique de ce cycle est donné par l'ensemble des relations suivantes :

➤ Pompe 1:

$$w_{p1} = (1 - y)(h_2 - h_1) = (1 - y) v_1 (P_2 - P_1) \quad (2.21)$$

➤ Pompe 2:

$$w_{p2} = h_4 - h_3 = v_3 (P_4 - P_3) \quad (2.22)$$

➤ chaudière :

$$q_H = h_5 - h_4 \quad (2.23)$$

➤ turbine :

$$w_t = (h_6 - h_5) + (1 - y)(h_7 - h_6) \quad (2.24)$$

➤ condensateur :

$$q_L = (1 - y)(h_1 - h_7) \quad (2.25)$$

➤ Le travail net du cycle :

$$w = w_t + w_{p1} + w_{p2} = -(q_H + q_L) \quad (2.26)$$

➤ le rendement thermique du cycle à un soutirage de vapeur :

$$\eta_{th} = \frac{-w}{q_H} = 1 + \frac{q_L}{q_H} \quad (2.27)$$

CHAPITRE 3

PRESENTATION DES PROGRAMMES ELABORES

3.1. Introduction

Ce troisième chapitre est consacré à la présentation des programmes élaborés pour l'étude des cycles de puissance à vapeur. Ainsi, quatre programmes sont élaborés qui permettent d'étudier :

- Le cycle de Rankine.
- Le cycle de Rankine à resurchauffe.
- Les cycles de Rankine à un soutirage et à deux soutirages.

Généralement, ces programmes ont comme input (variables introduites) les pressions et la température d'entrée à la turbine. Et comme output (variables de sortie) le rendement, le travail net et la quantité de chaleur fournie.

Tous les programmes calculent les variables thermodynamiques du fluide moteur, suivant sa forme, des tables thermodynamiques. Ces tables sont stockées de la manière suivante :

- Les tables Température et Pression utilisées pour la forme liquide-vapeur sont stockées, dans chaque programme, dans deux matrices, respectivement, '**a4**' et '**a5**'.
- Pour la forme vapeur surchauffée : ce cas est marqué par l'existence de plusieurs tables. Ainsi, pour faciliter la manipulation, une fonction, appelée '**a6**', a été créée. Et dans chaque programme, en cas de besoin, on appelle cette fonction. Cette fonction a comme input la pression en *kPa* et elle renvoi la table de la vapeur surchauffée correspondante à la pression introduite.
- Pour la forme liquide comprimé : pour la même cause qui a poussée à créer la fonction précédente, une fonction '**a7**', a été créée. La fonction renvoi la table du liquide comprimé correspondante à la pression introduite.

3.2. Programme élaboré pour le cycle de Rankine

3.2.1. Présentation du programme

Le titre du paragraphe indique le programme élaboré permet d'étudier le cycle de Rankine alors qu'en réalité, il permet aussi d'étudier le cycle d'Hirn. Mais, comme on a signalé dans le chapitre précédent, il y a tendance à utiliser l'appellation du cycle de Rankine pour les deux.

Ce programme (programme 1 de l'Annexe), dont l'organigramme est donné par la figure 3.2, s'articule sur les points suivants :

- La numérotation des états est celle illustrée sur la figure 2.2.
- L'état 1, entrée de la pompe, se trouve sur la courbe de bulle.
- La vapeur à l'état 3, entrée de la turbine, est soit une vapeur saturée ou bien une vapeur surchauffée.

Le programme traite aussi les irréversibilités dans la pompe et dans la turbine et permet aussi de tracer le diagramme $T-s$ du cycle.

3.2.2. Exemples d'application

Afin d'illustrer tester le programme 1, on a pris, du livre « Thermodynamique : Une approche pragmatique » [10], les deux exemples suivants :

3.2.2.1. Exemple 1

Soit une turbine à vapeur fonctionnant selon le cycle de Rankine idéal. La pression dans la chaudière est de 10MPa et celle dans le condenseur est celle dans le condenseur est de 100kPa. Calculer :

- Le travail net ;
- Le rendement

Avant d'exécuter le programme 1, il faut introduire les données de l'exemple de la manière illustrée dans la figure suivante.

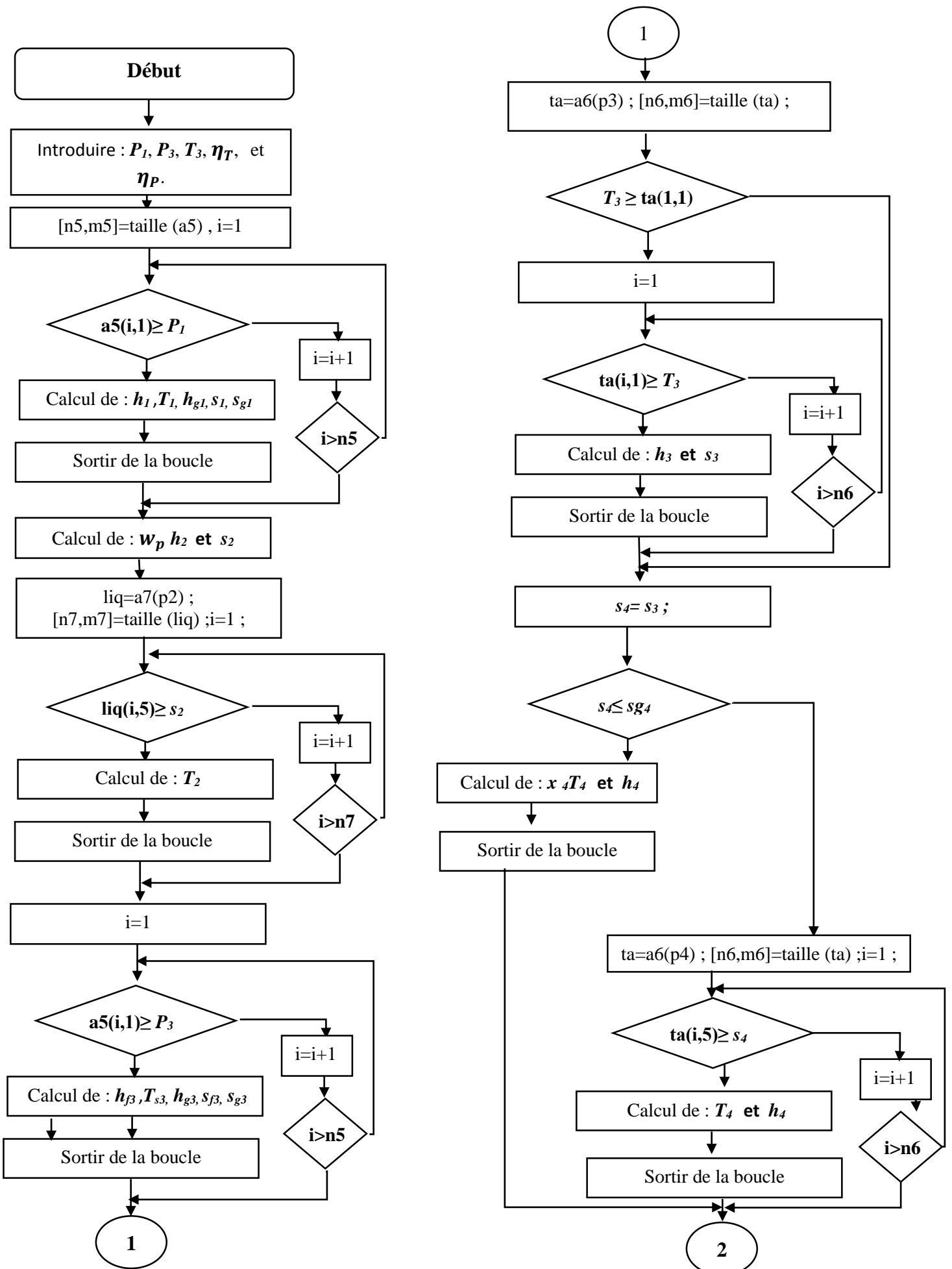
```

% Cycle de Rankine

% P1   P3   T3   sont connus
clear
clc
p1=100;% en kPa
p2=10000;% en kPa
t3=311;% en °C
p3=p2;
p4=p1;
% pour ne pas prendre les irréversibilités en compte introduire un
% rendement isentropique égal à 1
np=1;
nt=1;

```

Figure 3.1 : Programme 1 après la saisie des données.



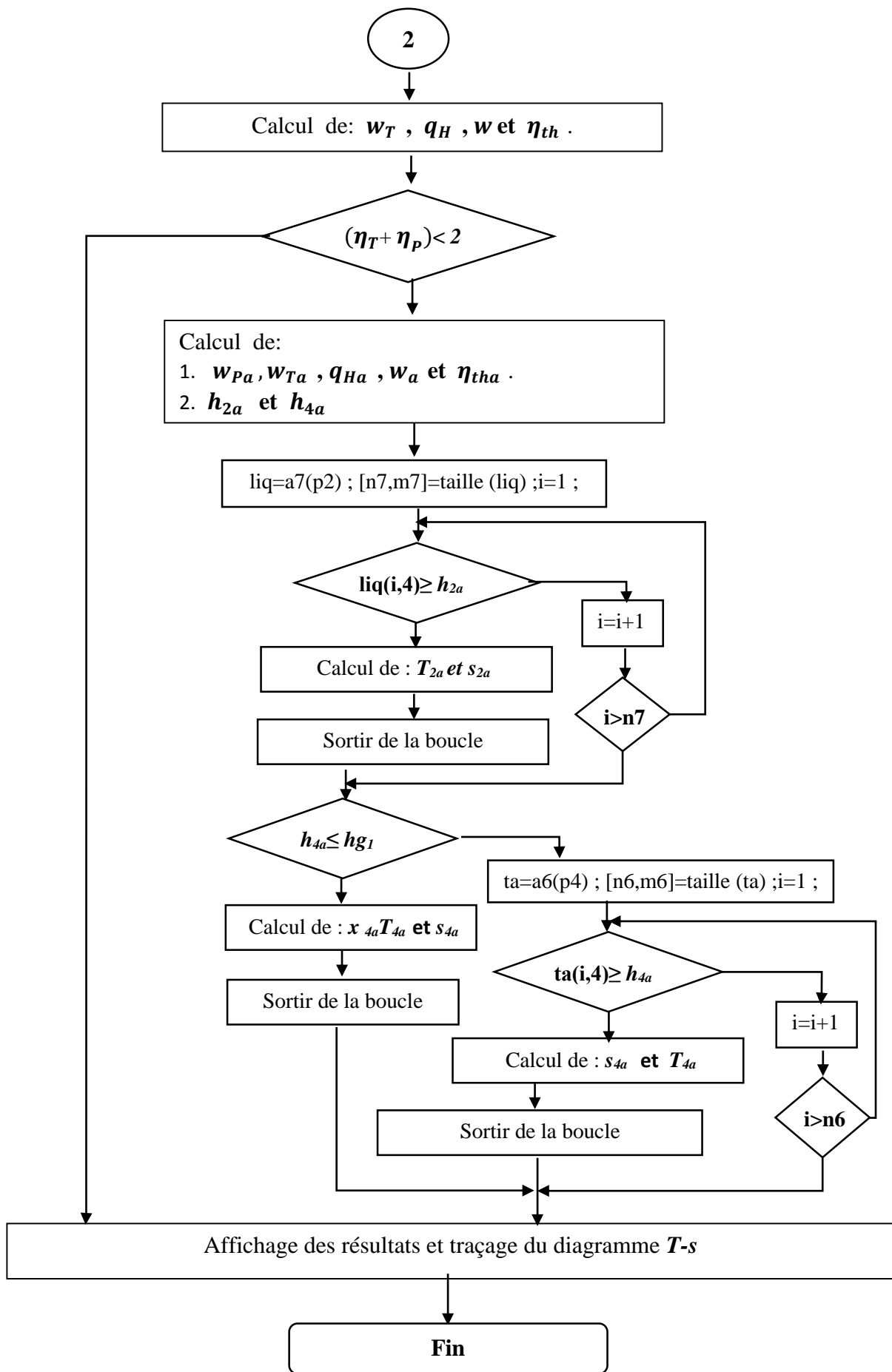


Figure 3.2 : organigramme du cycle de Rankine.

Il est à remarquer que :

- La température T_3 introduite est la température de saturation à la pression P_3 .
- Les évolutions isentropiques sont supposées réversibles, ainsi on introduit $\eta_P = \eta_T = 1$.

Après l'exécution du programme les résultats suivant sont affichés :

```

***** résultats :évolutions isentropiques*****
h1=417.510 kJ/kg, h2=427.836 kJ/kg,h3=2725.500 kJ/kg et h4=2025.274 kJ/kg
T1=99.610 °C, T2=100.287 °C,T3=311.000 °C T4=99.610 °C
le travail massique consommé par la pompe =10.326 kJ/kg
le travail massique fourni par la turbine =-700.226 kJ/kg
le travail massique net =-689.900 kJ/kg
la quantité de chaleur fournie =2297.664 kJ/kg
le rendement de la TAV =30.026 >> |
    
```

Figure 3.3 : solution de l'exemple 1 affichée par le programme.

Le programme permet également de tracer le diagramme $T-s$ comme c'est mentionné dans la figure suivante.

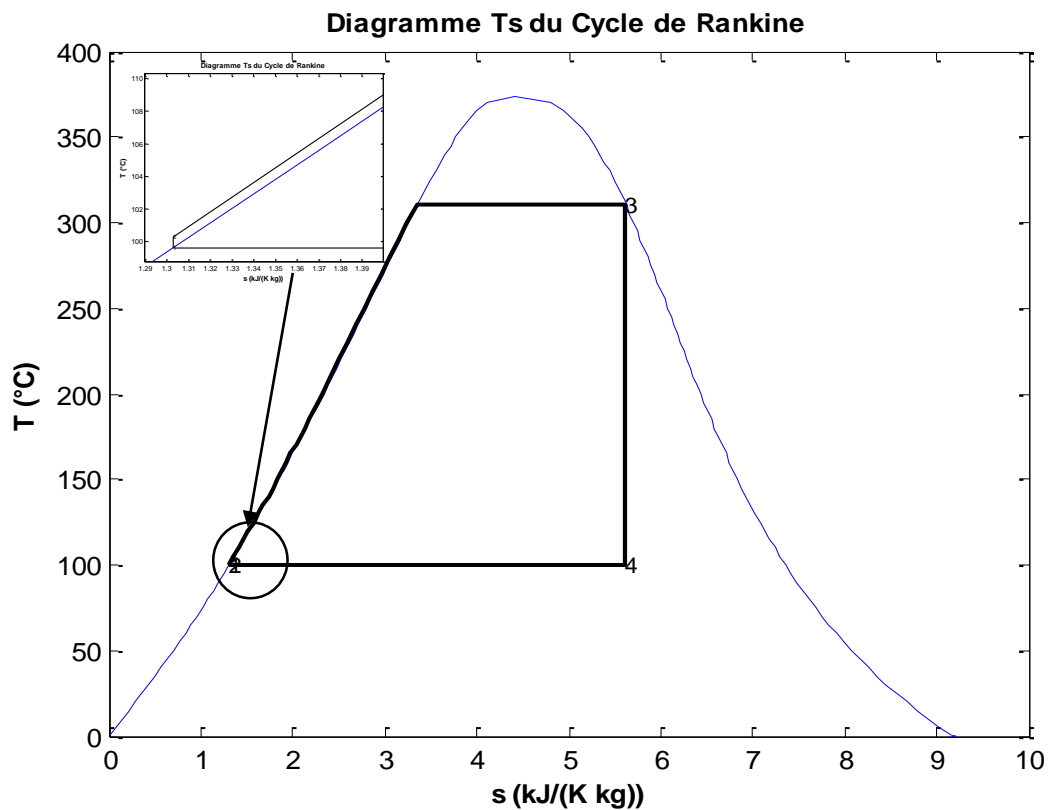


Figure 3.4 : diagramme $T-s$ de l'exemple 1.

Dans le diagramme $T-s$, les états 1 et 2 semblent confondus, du fait que l'écart entre les deux est faible. Aussi l'isobare P_3 , coté du liquide comprimé, semble confondue avec la courbe de bulles.

Mais en zoomant, on constate que ces entités ne sont pas confondues, comme c'est indiqué sur la figure 3.4.

3.2.2.2. Exemple 2

Refaire l'exemple 1 en supposant que : la température à l'entrée de la turbine est de 650°C , $\eta_p = 95\%$ et $\eta_T = 85\%$?

Après avoir introduit les données de cet exemple le programme affiche les résultats de calculs et trace le diagramme T - s comme c'est mentionné sur les deux figures suivantes.

```

***** résultats :évolutions isentropiques*****
h1=417.510 kJ/kg, h2=427.836 kJ/kg,h3=3748.100 kJ/kg et h4=2556.424 kJ/kg
T1=99.610 °C, T2=100.287 °C,T3=650.000 °C T4=99.610 °C
le travail massique consommé par la pompe =10.326 kJ/kg
le travail massique fourni par la turbine =-1191.676 kJ/kg
le travail massique net =-1181.350 kJ/kg
la quantité de chaleur fournie =3320.264 kJ/kg
le rendement de la TAV =35.580
***** résultats :évolutions réelles*****
h2a=428.379 kJ/kg et h4a=2735.175 kJ/kg
T2a=100.419 °C et T4a=129.452 °C
le travail massique réel consommé par la pompe =10.869 kJ/kg
le travail massique réel fourni par la turbine =-1012.925 kJ/kg
le travail massique net réel =-1002.055 kJ/kg
la quantité de chaleur fournie réellement =3319.721 kJ/kg
le rendement réel de la TAV =30.185 >>
    
```

Figure 3.5 : solution de l'exemple 2 affichée par le programme 1.

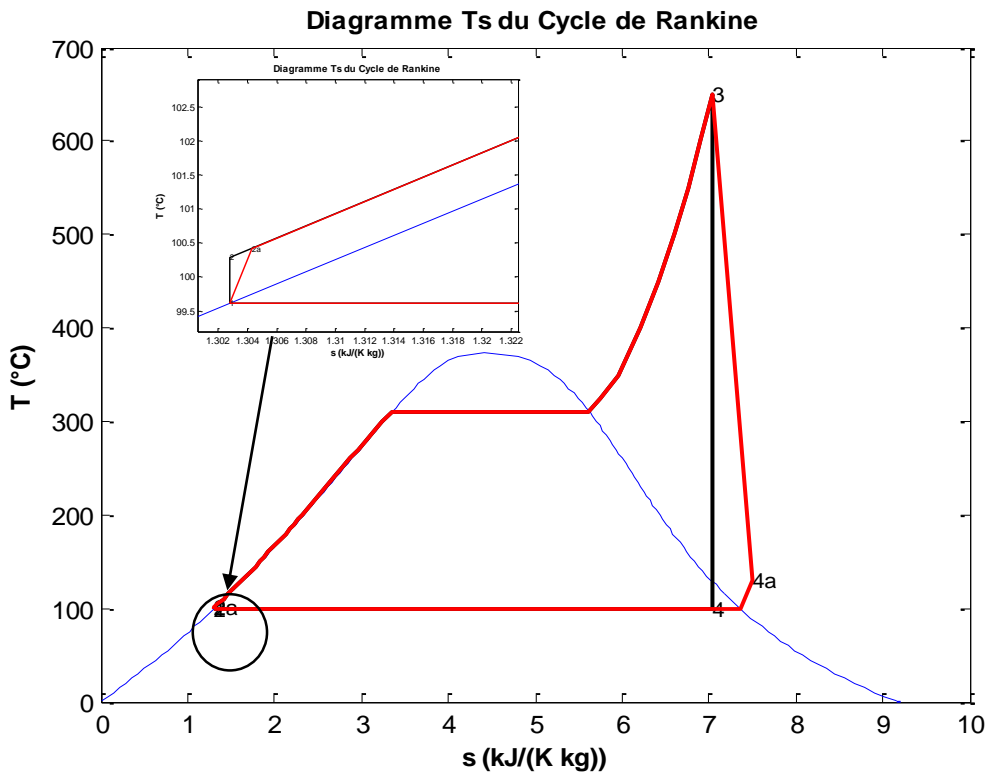


Figure 3.6 : diagramme T - s de l'exemple 2.

Le zoom de la figure 3.6 montre que les évolutions isentropique et réelle, coté pompe, ne sont pas confondues.

3.3. Programme élaboré pour le cycle de Rankine à resurchauffe

3.3.1. Présentation du programme

La numérotation choisie des états de ce cycle est celle illustrée sur la figure 3.8. Ce programme est une extension du programme 1. Il est à signaler, que dans les deux programmes des boucles ont été ajouté juste pour tracer, correctement, le diagramme du cycle T - s . Par exemple, h_{f3} , T_{s3} et s_{f3} n'interviennent pas dans le calcul du bilan énergétique mais pour le traçage du cycle elles sont incontournables.

En revanche, le programme 2 calcule les évolutions isentropiques et réelles à la fois, alors le programme précédent donne à l'utilisateur la possibilité de calculer les évolutions isentropiques ou les deux à la fois.

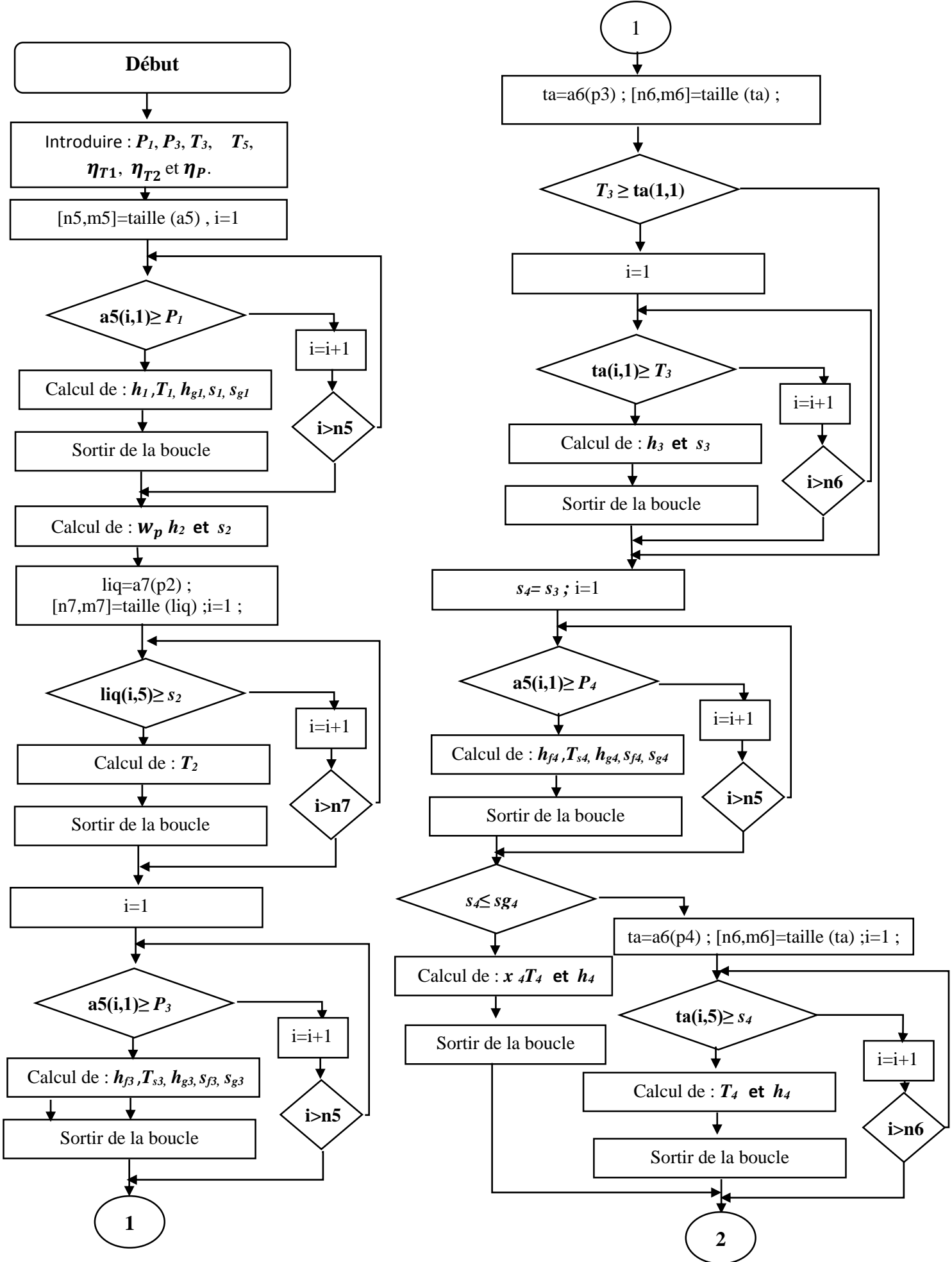
3.3.2. Exemple d'application

Pour tester le programme prenant l'exercice suivant comme exemple : « Soit une centrale thermique exploitée selon le cycle à resurchauffe idéal. Les pressions maximale et minimale sont de 7MPa et 10kPa. Les températures à l'entrée de chaque étage sont égales à 500°C. si : la pression à l'entrée de la turbine BP est de 800 kPa, $\eta_p = 92\%$ et $\eta_{T1} = \eta_{T2} = 88\%$. Calculer : Le travail net et le rendement » [10].

Le programme affiche les résultats suivants :

```
*****      résultats :évolutions isentropiques*****
h1=191.810 kJ/kg, h2=198.870 kJ/kg,h3=3411.400 kJ/kg  h4=2831.693 kJ/kg,h5=3481.300kJ/kg  ,h6=2494.718kJ/kg
T1=45.810 °C, T2=46.045 °C,T3=500.000 °C T4=196.645 °C ,T5=500.000 °C  ,T6=45.810 °C
le travail massique consommé par la pompe = 7.060 kJ/kg
le travail massique fourni par le premier étage de la turbine =-579.707 kJ/kg
le travail massique fourni par le deuxième étage de la turbine =-986.582 kJ/kg
le travail massique fourni par les deux étage de la turbine =-1566.289 kJ/kg
le travail massique net =-1559.229 kJ/kg
la première quantité de chaleur réellement reçue =3212.530 kJ/kg
la deuxième quantité de chaleur reçue =649.607 kJ/kg
la quantité de chaleur totale reçue =3862.137 kJ/kg
le rendement de la TAV =40.372
*****      résultats :évolutions réelles*****
h2a=199.484 kJ/kg h4a=2901.258 kJ/kg et h6a=2613.108 kJ/kg
T2a=46.187 °C T4a=227.784 °C et T6a=61.051 °C
le travail massique réel consommé par la pompe = 7.674 kJ/kg
le travail massique réel fourni par le premier étage de la turbine =-510.142 kJ/kg
le travail massique réel fourni par le deuxième étage de la turbine =-868.192 kJ/kg
le travail massique réel fourni par les deux étage de la turbine =-1378.334 kJ/kg
le travail massique net réel =-1370.661 kJ/kg
la première quantité de chaleur réellement reçue =3211.916 kJ/kg
la deuxième quantité de chaleur réellement reçue =580.042 kJ/kg
la quantité de chaleur totale réellement reçue =3791.959 kJ/kg
le rendement réel de la TAV =36.147 >> |
```

Figure 3.7 : solution de l'exemple affichée par le programme 2.



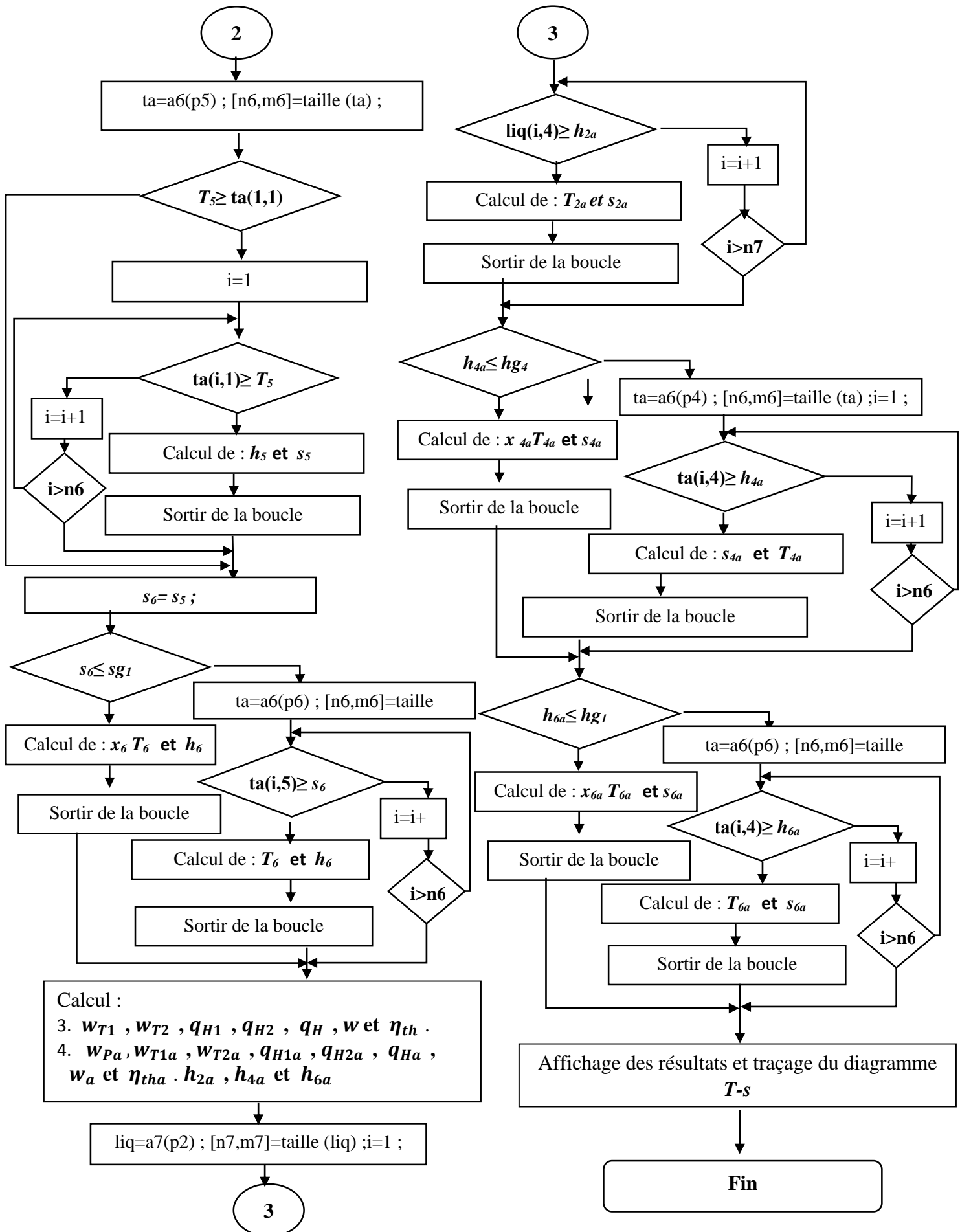


Figure 3.8 : organigramme du cycle à resurchauffe.

Le programme trace et affiche aussi le diagramme T - s du cycle.

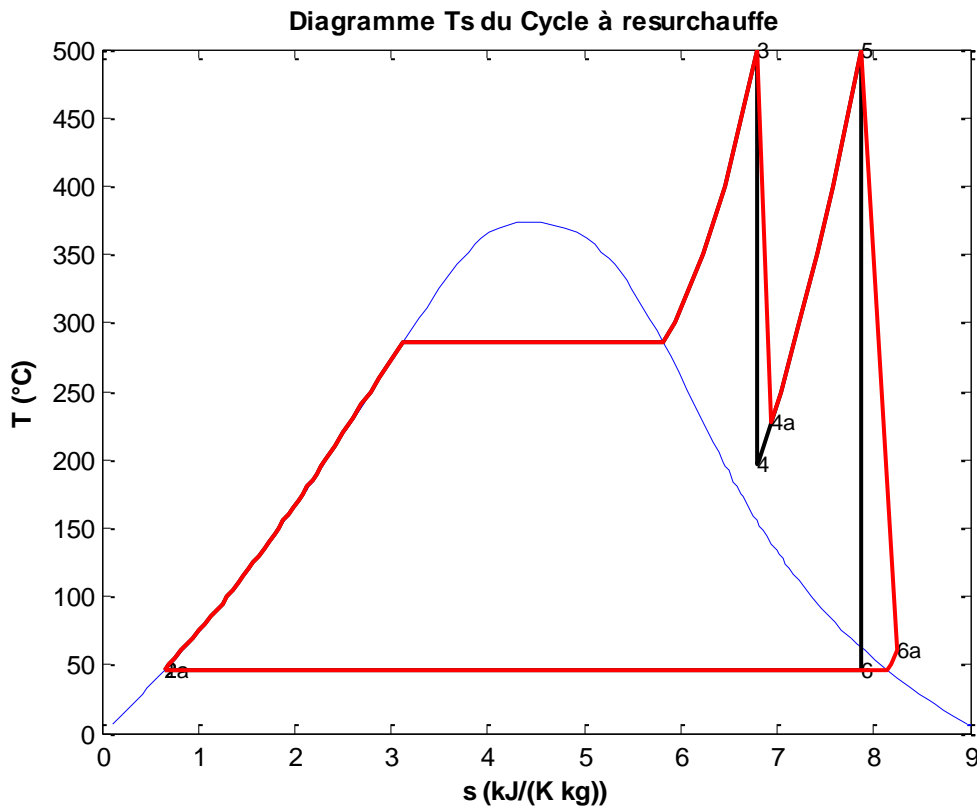


Figure 3.9 : diagramme T - s de l'exemple 3.

3.4. Programme élaborés pour le cycle de Rankine à un soutirage

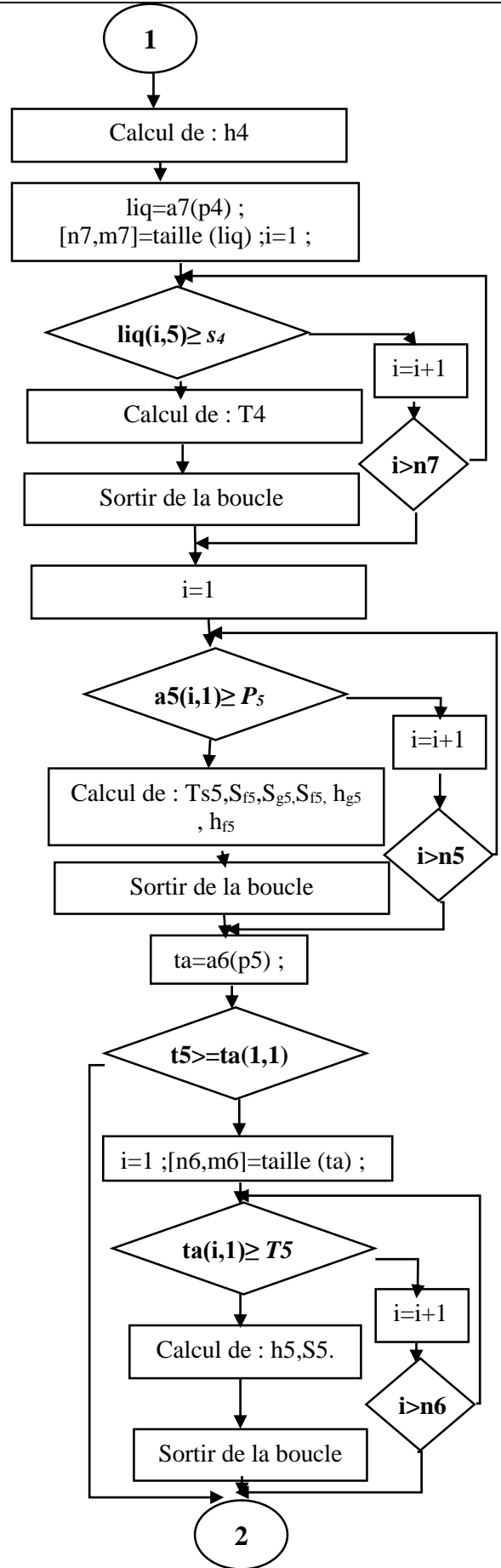
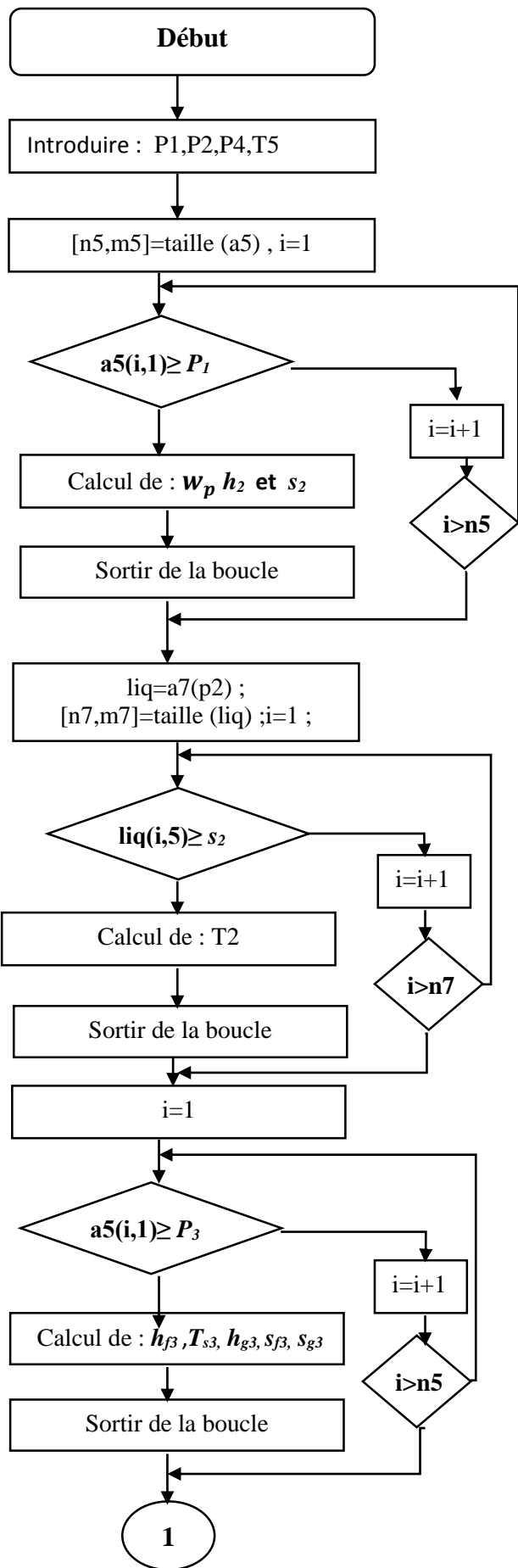
3.4.1. Présentation du programme

La numérotation des états de ce cycle est celle illustrée sur la figure 2.11. On suppose qu'à l'entrée de chaque pompe l'eau se trouve sous forme de liquide saturé.

Il convient de signaler, que pour le soutirage, deux types de réchauffeur sont utilisés :

- Le réchauffeur à mélange (en anglais : *Open Feedwater Heater*) : la vapeur soutirée est mélangée à de l'eau d'alimentation à la même pression.
- Le réchauffeur à séparation (en anglais : *Closed Feedwater Heater*) : la vapeur soutirée et l'eau d'alimentation ne se mélangent pas. Et un échange de chaleur s'établit entre les deux fluides à des pressions différentes.

Dans ce travail, seul le réchauffeur à mélange est étudié. L'organigramme du programme d'un soutirage (programme 3 de l'annexe) est donné par la figure 3.9.



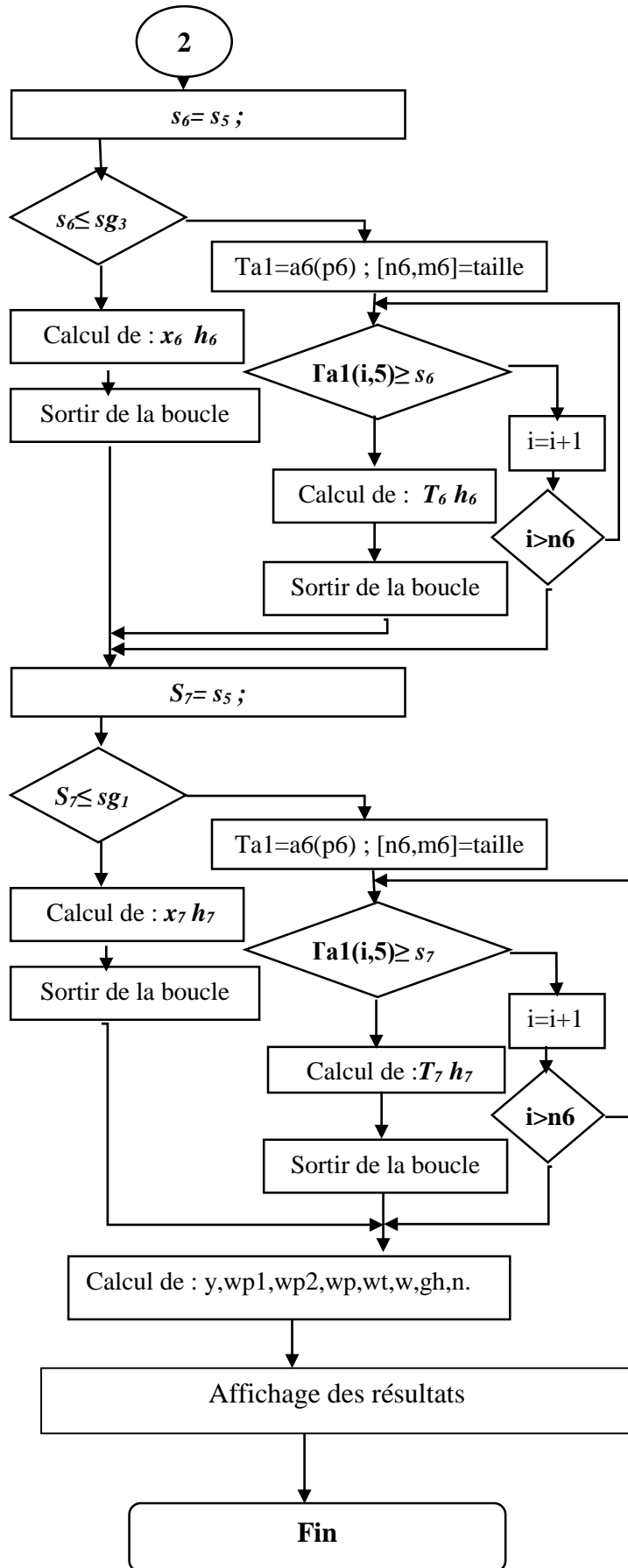


Figure 3.10 : organigramme du cycle à un soutirage

3.4.2. Exemple d'application

Le problème suivant est pris comme exemple : « Soit une turbine à vapeur fonctionnant selon le schéma de la figure suivante. La vapeur d'eau est admise dans la turbine à 5 MPa et à 600°C et elle est condensée dans le condenseur à 10 kPa. Une partie de la vapeur est soutirée à 0.2MPa pour être détournée vers le réchauffeur. Déterminer :

- 1) la fraction de la vapeur soutirée de la turbine
- 2) le rendement thermique du cycle. »[10]

Après la compilation d, le programme 3 affiche les messages de la figure 3.10 et trace la courbe donnée par la figure 3.12

```

***** Résultats *****
h1=191.810 kJ/kg, h2=192.002 kJ/kg,h3=504.710 kJ/kg h4=509.803 ,h5=3666.900kJ/kg ,h6=2760.740kJ/kg, ,h7=2300.566kJ/kg
t1=45.810 °C, t2=45.818 °C,t3=120.210 °C t4=120.617 ,t5=600.000°C ,t6=146.034°C, ,t7=45.810°C
le volume massiques v3=0.001061 m^3/kg
la fraction soutirée= 0.122
le travail massique consommé par la première pompe = 0.169 kJ/kg
le travail massique consommé par la deuxième pompe = 5.093 kJ/kg
le travail massique consommé par les deux pompes = 5.261 kJ/kg
le travail massique fourni par la turbine =-1310.314 kJ/kg
le travail massique net =-1305.053 kJ/kg
la quantité de chaleur reçue =3157.097 kJ/kg
le rendement de la TAV =41.337 >>
    
```

Figure 3.11 : solution de l'exemple 4 affichée par le programme 3.

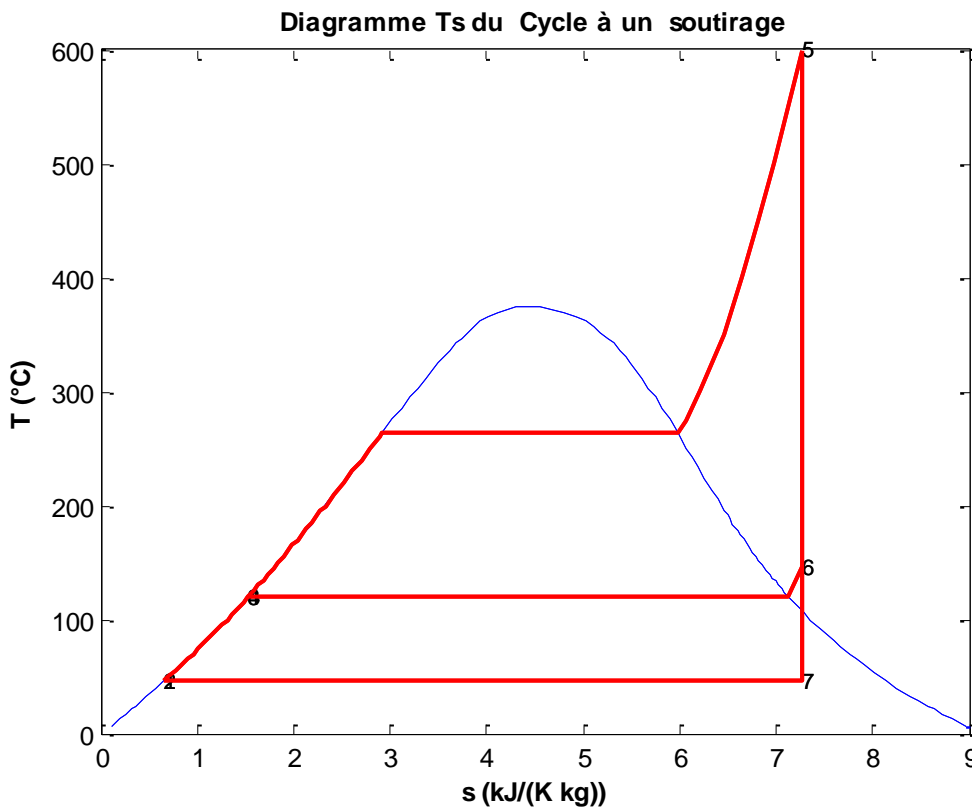


Figure 3.12 : diagramme T-s de l'exemple 4.

3.5. Programme élaborés pour le cycle de Rankine à deux soutirages

3.5.1. Présentation du programme

En plus de l'amélioration du rendement, le cycle à soutirage permet, également, d'une part de dégazer l'eau, évitant ainsi la corrosion de la chaudière, et de l'autre part de contrôler les débits volumiques élevés dans les derniers étages de la turbine [10]. L'amélioration est d'autant plus sensible que le nombre de soutirages est plus élevé.

Pour les installations motrices à vapeur de moyenne puissance (de l'ordre de 50 MW) le soutirage est limité à un ou deux soutirages. Ainsi, pour mettre en évidence l'effet de doubler le nombre de soutirages sur le bilan énergétique on a élaboré le programme 4 (voir annexe) dont l'organigramme de la figure 3.13. la numérotation des états de cycle de deux soutirages est celle schématisée par la figure 3.12.

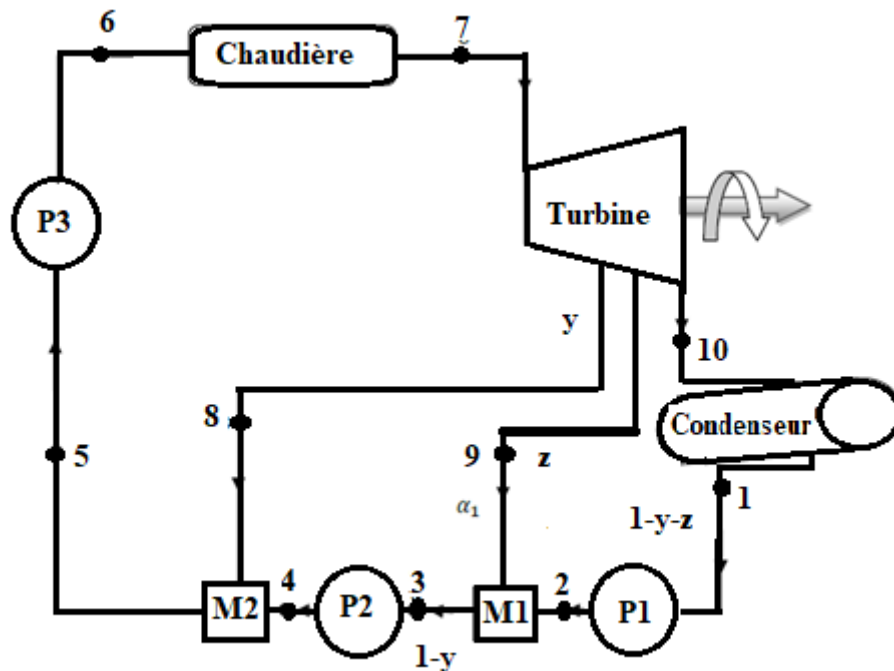
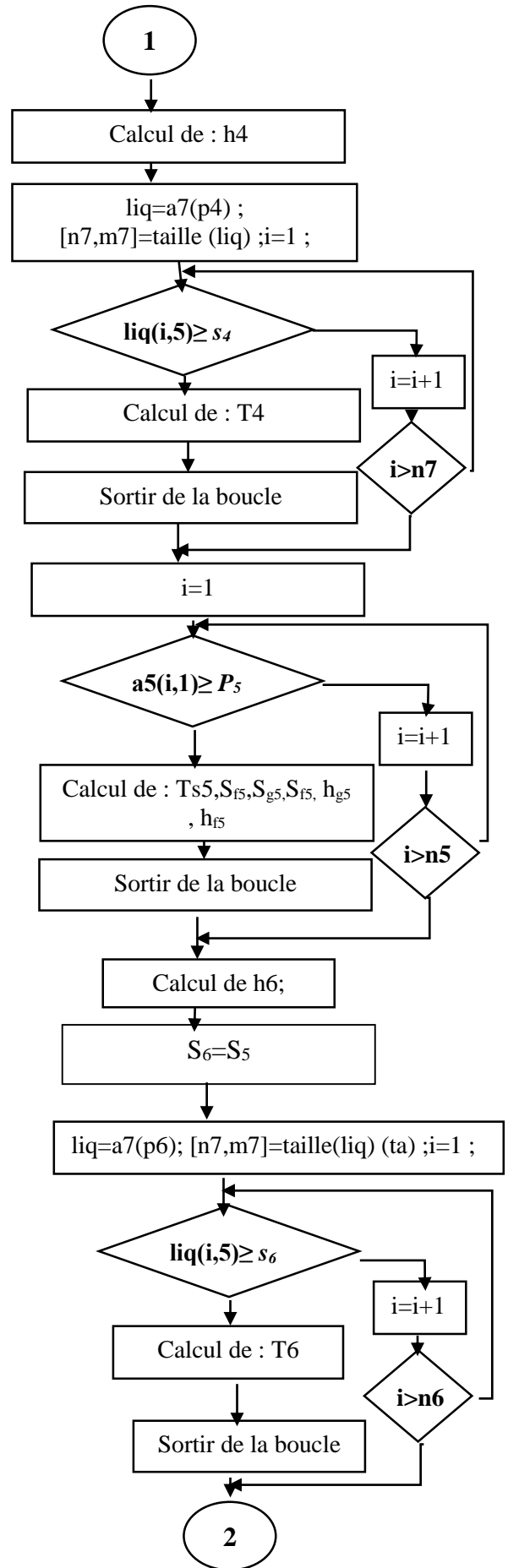
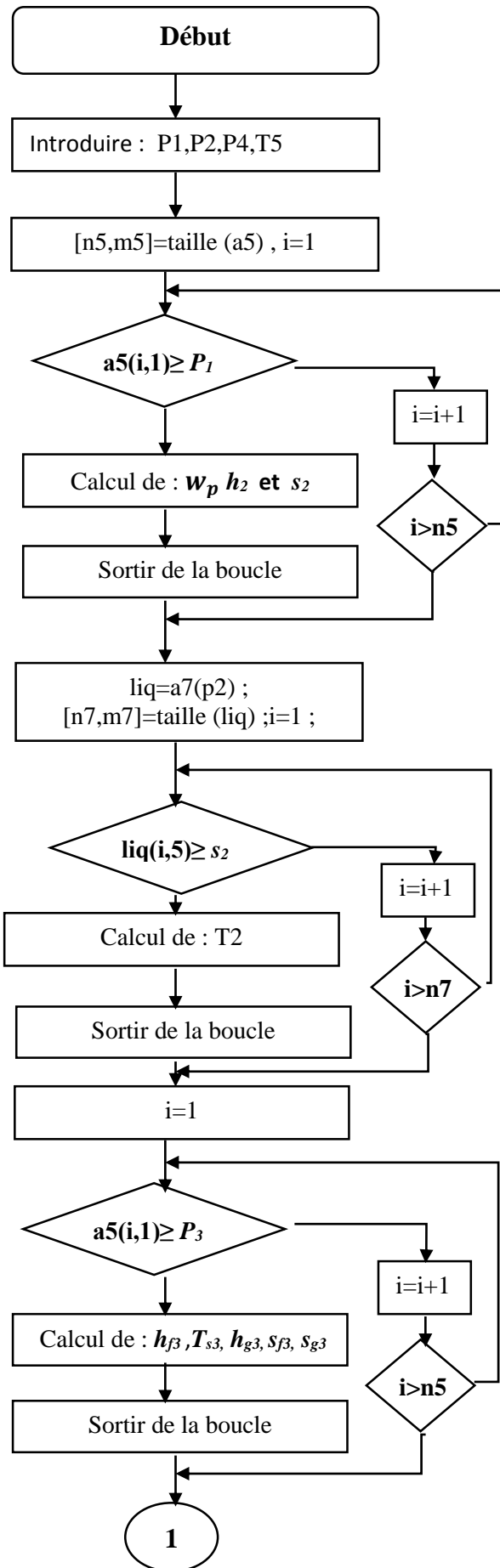


Figure 3.13 : schéma du cycle de Rankine à deux soutirages.

Dans la figure 3.12 la lettre **P** indique pompe et la lettre **M** indique mélangeur. y est la première fraction de vapeur soutirée de la turbine et z est la deuxième fraction de vapeur soutirée. Là aussi on suppose, également à l'entrée de chaque pompe l'eau se trouve sous la forme de liquide saturé.



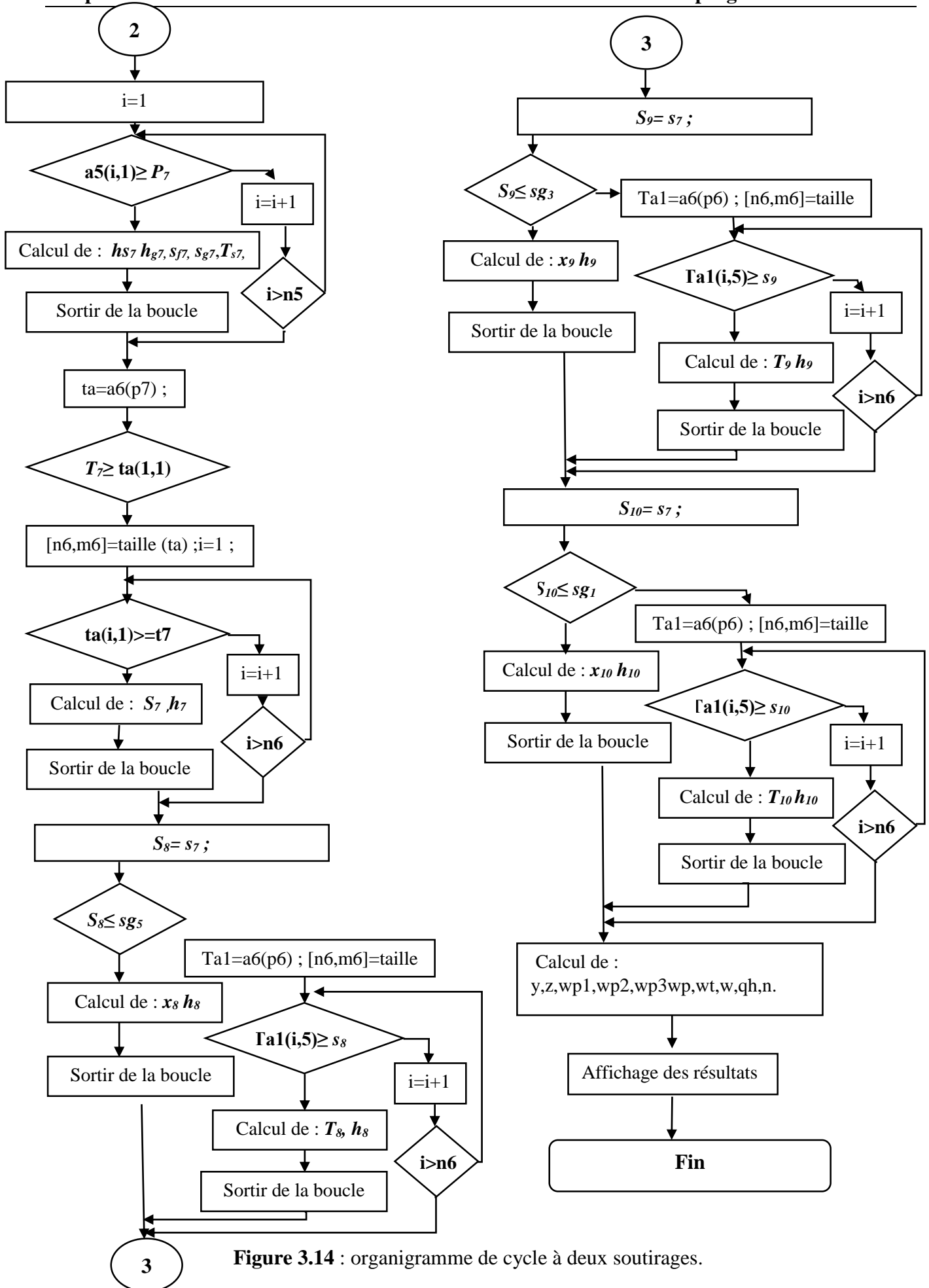


Figure 3.14 : organigramme de cycle à deux soutirages.

3.5.2. Exemple d'application

Reprenant l'exemple de la section (3.4.2) mais cette on suppose qu'il existe deux soutirages : le premier à une pression de 1MPa et le deuxième à 0.2MPa.

Après avoir saisi les données de l'exemple 5, l'exécution du programme 4 donne les résultats donnés par les deux figures suivantes.

```

***** Résultats *****
h1=191.810 kJ/kg, h2=192.002 kJ/kg,h3=504.710 kJ/kg h4=505.559 ,h5=762.510kJ/kg
h6=767.018kJ/kg, h7=3666.900kJ/kg,h8=3132.850kJ/kg,h9=2760.740kJ/kg,h10=2300.566kJ/kg
t1=45.810 °C, t2=45.818 °C,t3=120.210 °C t4=120.280 ,t5=179.880°C
t6=180.445°C, ,t7=600.000°C,t8=338.110°C,t9=146.034°C,t10=45.810°C
les volumes massiques v3=0.001061 m^3/kg et v5=0.001127 m^3/kg
la fraction soutirée lors du premier sotirage y= 0.098
la fraction soutirée lors du deuxime sotirage z= 0.110
le travail massique consommé par la première pompe = 0.152 kJ/kg
le travail massique consommé par la deuxième pompe = 0.766 kJ/kg
le travail massique consommé par la troisième pompe = 4.508 kJ/kg
le travail massique consommé par les trois pompes = 5.426 kJ/kg
le travail massique fourni par la turbine =-1234.395 kJ/kg
le travail massique net =-1228.969 kJ/kg
la quantité de chaleur reçue =2899.882 kJ/kg
le rendement de la TAV =42.380 >>
    
```

Figure 3.15 : solution de l'exemple5 affichée par le programme 4.

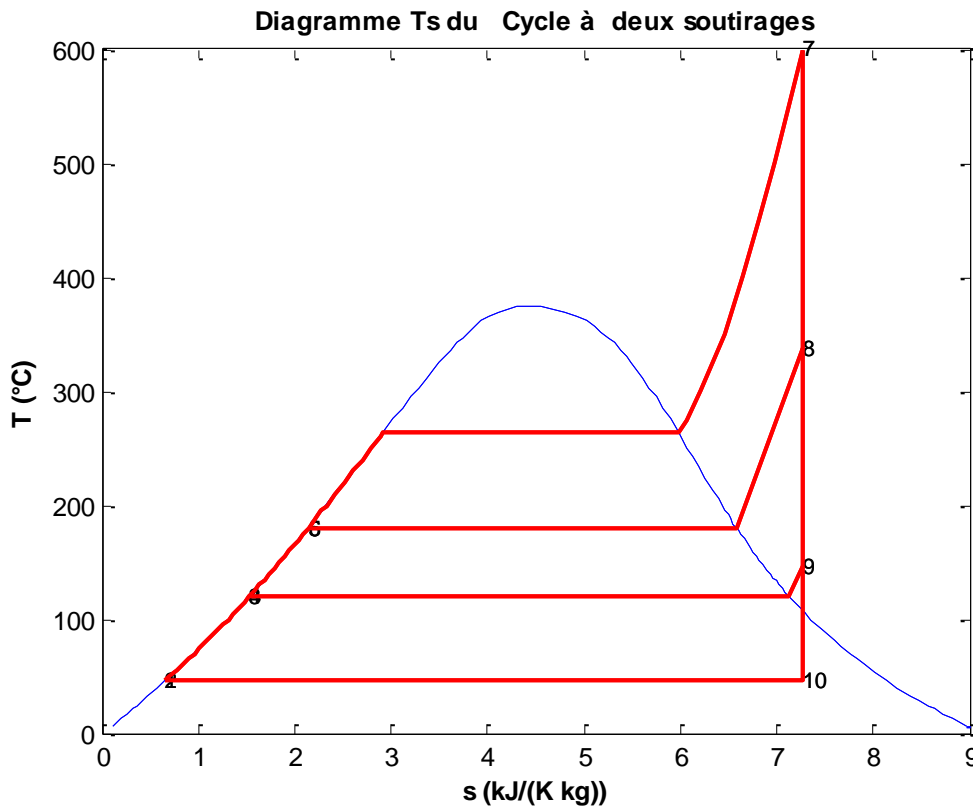


Figure 3.16 : diagramme T-s de l'exemple 5.

CONCLUSION GENERALE

Les turbines à vapeur occupent une place incontournable dans les systèmes de production de l'électricité. En effet, dans notre pays, les turbines à gaz et à vapeur représentent environ 97% des moyens utilisés pour satisfaire nos besoins énergétiques [14]. Ainsi, l'étudiant en énergétiques doit maîtriser le calcul des bilans énergétiques des cycles des machines thermiques motrices à vapeur. Le travail présenté, dans ce mémoire, est une contribution à l'étude de ces cycles.

Au terme de cette étude, on a pu élaborer quatre programmes et deux fonctions sous Matlab qui permettent de simuler les trois principaux cycles des turbines à vapeurs (Rankine, Resurchauffe, un soutirage et deux soutirages). Les tables thermodynamiques, utilisées dans ces calculs, sont implantées :

- soit directement dans les programmes : c'est le cas des tables de la phase mélange Liquide-vapeur,
- ou bien dans des fonctions : par exemple, les tables de la vapeur surchauffées sont implantées dans la fonction '*ab*'.

Tous les programmes élaborés offrent la possibilité de tracer le diagramme entropique du cycle. En revanche, pour faciliter la tâche à l'utilisateur certains points doivent être ajoutés, tels que :

- la fusion de tous les programmes dans un seul programme,
- la réalisation d'une interface graphique.

Finalement, l'amélioration de cette version des programmes passe par l'exploitation du retour d'expérience.

BIBLIOGRAPHIE

1. <https://energieplus-lesite.be/techniques/cogeneration9/la-turbine/> dernier accès Août 2019
2. HERZALLAH, A., "Étude thermodynamique Maintenance et Fiabilité d'une turbine à gaz MS 5002", mémoire d'ingénieur, Université de Boumerdès, 2006.
3. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine>. dernier accès Août 2019
4. <https://energie-nucleaire.net/uploads/definico/33/1/turbina-vapor.jpg> dernier accès septembre 2019
5. <https://energie-nucleaire.net/definitions/turbine-a-vapeur.html> dernier accès Août 2019
6. <http://www.directindustry.com/prod/ansaldoenergia/steamturbine29641232047.html>, dernier accès Août 2019
7. <https://www.directindustry.com/prod/ansaldo-energia/steam-turbine29641232047.html> dernier accès Août 2019
8. <http://dicens.mines-paristech.fr/Sites/Thopt/fr/res/schemaVapeur.jpg> dernier accès Août 2019
9. Eric Goncalvès da Silva, Jean-Paul Thibault. Cycles thermodynamiques des machines thermiques. Engineering school. Institut polytechnique de Grenoble, 2008, pp.153. [\(cel-00556977\)](#)
10. . Y. Cengel ,M. A. Bolés & M. Lacroix , « Thermodynamique , une approche pragmatique » , édition DE BOECK ;2008
11. <https://www.google.com/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fphysiquecira.free> dernier accès Août 2019.
12. [L. Borel](#) & [D. Favrat](#) « Thermodynamique et énergétique (Volume 1) De l'énergie à l'exergie », Presses polytechniques et universitaires romandes,2011.
13. http://moodle-n7.inp-toulouse.fr/pluginfile.php/27380/mod_folder/content/0/TAV_cycles_moteurs.pdf?forcedownload=1
14. Akila KHOUDJA, Défi pour une autonomie partielle de la production d'électricité par cogénération, 2013, <https://portail.cder.dz/spip.php?article3202>

ANNEXES

Remarque : dans tous les programmes présentés ici, les matrices 'a4' et 'a5' contiennent la première et la dernière ligne.

PROGRAMME 1 : CYCLE DE RANKINE

```

%*****
%      Université ABDELHAMID IBN BADIS- MOSTAGANEM
%      Faculté des sciences et de la technologie
%      Département de Génie Mécanique
%*****
% Cycle de Rankine

% P1   P3   T3       sont connus
clear
clc
p1=100;% en kPa
p2=10000;% en kPa
t3=311;% en °c
p3=p2;
p4=p1;
% pour ne pas prendre les irréversibilités en compte introduire un
% rendement isentropique égal à 1
np=1;
nt=1;

a4=[0.01    0.6117  0.001    206  0
2374.9  2374.9  0.001    2500.9
2500.9  0  9.1556  9.1556 ;
.....
373.95          22.064    0.003106
0.003106        2015.7    0    2015.7
2084.3          0          2084.3
4.407    0  4.407    ;
];

a5=[1.0      6.97    0.001000  129.19
29.302    2355.2    2384.5
29.303    2484.4    2513.7    0.1059
8.8690    8.9749;
.....
22064    373.95    0.003106
0.003106    2015.7    0    2015.7
2084.3    0    2084.3    4.407    0
4.407    ;
];

[n4,m4]=size(a4);
[n5,m5]=size(a5);

for i=1:n5
    if a5(i,1)>=p1
        v1=a5(i-1,3)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,3)-a5(i-1,3))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        h1=a5(i-1,8)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,8)-a5(i-1,8))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        t1=a5(i-1,2)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,2)-a5(i-1,2))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sf1=a5(i-1,11)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,11)-a5(i-1,11))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sg1=a5(i-1,13)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,13)-a5(i-1,13))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        hf1=h1;
        hg1=a5(i-1,10)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,10)-a5(i-1,10))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        s1= sf1;
        break
    end

end

wp=v1*(p2-p1);
h2=wp+h1;
% estimation de t2 pour le traçage du cycle
s2=s1;
liq=a7(p2);
[n7,m7]=size(liq);

```

```

for i=1:n7
    if liq(i,5)>=s2

        t2=liq(i-1,1)+(s2-liq(i-1,5))*(liq(i,1)-liq(i-1,1))/(liq(i,5)-liq(i-1,5));

        break

    end

end

tt0=liq(i:n7,1)
ss0=liq(i:n7,5)

for i=1:n5
    if a5(i,1)>=p3

        ts3=a5(i-1,2)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,2)-a5(i-1,2))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sf3=a5(i-1,11)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,11)-a5(i-1,11))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sg3=a5(i-1,13)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,13)-a5(i-1,13))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        hf3=a5(i-1,8)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,8)-a5(i-1,8))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));;
        hg3=a5(i-1,10)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,10)-a5(i-1,10))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));

        break

    end

end

ta=a6(p3);
if t3>=ta(1,1)
    [n6,m6]=size(ta);

for i=1:n6
    if ta(i,1)>=t3
        if i==1
            h3=ta(1,4);
            s3=ta(1,5);
        tab_T1=[t1 t2 tt0' ts3 ts3 ]
        tab_s1=[s1 s2 ss0' sf3 sg3 ]
        else
            h3=ta(i-1,4)+(t3-ta(i-1,1))*(ta(i,4)-ta(i-1,4))/(ta(i,1)-ta(i-1,1));
            s3=ta(i-1,5)+(t3-ta(i-1,1))*(ta(i,5)-ta(i-1,5))/(ta(i,1)-ta(i-1,1));

            tt=ta(2:i-1,1);
            ss=ta(2:i-1,5);
            tab_T1=[t1 t2 tt0' ts3 ts3 tt' t3]
            tab_s1=[s1 s2 ss0' sf3 sg3 ss' s3]
            end
            break

        end

    end

end

s4=s3;
if s4<=sg1
    x4=(s4-sf1)/(sg1-sf1);
    h4=x4*(hg1-hf1)+h1;
    t4=t1;
    se=[tab_s1 s4 s1];
    te=[tab_T1 t1 t1];

else
    ta1=a6(p1);

    [n6,m6]=size(ta1);

for i=1:n6
    if ta1(i,5)>=s4
        h4=ta1(i-1,4)+(s4-ta1(i-1,5))*(ta1(i,4)-ta1(i-1,4))/(ta1(i,5)-ta1(i-1,5));
        t4=ta1(i-1,1)+(s4-ta1(i-1,5))*(ta1(i,1)-ta1(i-1,1))/(ta1(i,5)-ta1(i-1,5));
        se=[s1 s2 sf3 sg3 s3 s4 sg1 s1];
        te=[t1 t2 ts3 ts3 t3 t4 t1 t1];

        tt2=flipud(ta1(2:i-1,1))
        ss2=flipud(ta1(2:i-1,5))
        se=[tab_s1 s4 ss2' sg1 sf1];
        te=[tab_T1 t4 tt2' t1 t1];
        break

    end

end

end

p=[a5(:,1); flipud(a5(:,1))];
h=[a5(:,8); flipud(a5(:,10))];
s=[a4(:,11); flipud(a4(:,13))];
t=[a4(:,1); flipud(a4(:,1))];

```

```

wt=h4-h3;
qh=h3-h2;
w=wp+wt;
rend=-100*w/qh;
if (np+nt)<2
wpa=wp/np;
wta=nt*wt;
h2a=wpa+h1;
h4a=wta+h3;
qha=h3-h2a;
wa=wpa+wta;
renda=-100*wa/qha;

%estimation de t2a pour le traçage

[n7,m7]=size(liq);
for i=1:n7
    if liq(i,4)>=h2a

        t2a=liq(i-1,1)+(h2a-liq(i-
1,4))*(liq(i,1)-liq(i-1,1))/
(liq(i,4)-liq(i-1,4));
        s2a=liq(i-1,5)+(h2a-liq(i-
1,4))*(liq(i,5)-liq(i-1,5))/
(liq(i,4)-liq(i-1,4));

        break

    end

end

tta0=liq(i:n7,1)
ssa0=liq(i:n7,5)

tab_T1a=[t1 t2a tta0' ts3 ts3 tt'
t3]
tab_s1a=[s1 s2a ssa0' sf3 sg3 ss'
s3]

if h4a<=hg1

    x4a=(h4a-hf1)/(hg1-hf1);
    s4a=x4a*(sg1-sf1)+sf1;
    t4a=t1;

    sea=[tab_s1a s4a s1];
    tea=[tab_T1a t1 t1];

else
    ta1=a6(p1);

    [n6,m6]=size(ta1);

    for i=1:n6
        if ta1(i,4)>=h4a
            s4a=ta1(i-1,5)+(h4a-ta1(i-
1,4))*(ta1(i,5)-ta1(i-1,5))/
(ta1(i,4)-ta1(i-1,4));
            t4a=ta1(i-1,1)+(h4a-ta1(i-
1,4))*(ta1(i,1)-ta1(i-1,1))/
(ta1(i,4)-ta1(i-1,4));
            sea=[s1 s2a sf3 sg3 s3
s4a sg1 s1];
            tea=[t1 t2a ts3 ts3 t3 t4a
t1 t1];
            tt2a=flipud(ta1(2:i-1,1))
            ss2a=flipud(ta1(2:i-1,5))
            sea=[tab_s1a s4a ss2a' sg1
sf1];
            tea=[tab_T1a t4a tt2a' t1 t1];
            break

        end

    end

end

end

figure (1)
plot(s,t,'linewidth',1.25);
title('Diagramme Ts du Cycle de
Rankine','fontweight','bold');
xlabel('s (kJ/(K
kg))','fontweight','bold')
ylabel('T
(°C)','fontweight','bold')
hold on

plot(se,te,'k','linewidth',2)
t = text([s1],
[t1],'1','FontSize', 8)
t = text([s2],
[t2],'2','FontSize', 8)
t = text([s3],
[t3],'3','FontSize', 8)
t = text([s4],
[t4],'4','FontSize', 8)

clc
fprintf('\n*****
résultats :évolutions
isentropiques*****
*****')
fprintf('\n h1=%6.3f kJ/kg,
h2=%6.3f kJ/kg,h3=%6.3f kJ/kg et
h4=%6.3f kJ/kg',h1,h2,h3,h4);
fprintf('\n T1=%6.3f °C, T2=%6.3f
°C,T3=%6.3f °C T4=%6.3f °C
',t1,t2,t3,t4)

```

```

fprintf('\n le travail massique
consommé par la pompe =%6.3f
kJ/kg',wp)
fprintf('\n le travail massique
fourni par la turbine =%6.3f
kJ/kg',wt)
fprintf('\n le travail massique
net =%6.3f kJ/kg',w)
fprintf('\n la quantité de chaleur
fournie =%6.3f kJ/kg',qh)
fprintf('\n le rendement de la TAV
=%6.3f %',rend)
if (np+nt)<2
t = text([s2a],
[t2a], '2a', 'FontSize', 8);
t = text([s4a],
[t4a], '4a', 'FontSize', 8);

plot(sea,tea, 'r', 'linewidth',2)

fprintf('\n*****
résultats :évolutions
réelles*****
*****')
fprintf('\n h2a=%6.3f kJ/kg et
h4a=%6.3f kJ/kg',h2a,h4a)
fprintf('\n T2a=%6.3f °C et
T4a=%6.3f °C ',t2a,t4a)
fprintf('\n le travail massique
réel consommé par la pompe =%6.3f
kJ/kg',wpa)
fprintf('\n le travail massique
réel fourni par la turbine =%6.3f
kJ/kg',wta)
fprintf('\n le travail massique
net réel =%6.3f kJ/kg',wa)
fprintf('\n la quantité de chaleur
fournie réellement =%6.3f
kJ/kg',qha)
fprintf('\n le rendement réel de
la TAV =%6.3f %\n',renda)

end

```

PROGRAMME 2 : CYCLE A RESURCHAUFFE

```

%*****
%      Université ABDELHAMID IBN BADIS- MOSTAGANEM
%      Faculté des sciences et de la technologie
%      Département de Génie Mécanique
%*****
% Cycle à resurchauffe
% P1  P3  T3 T4      sont connus
clear
clc
p1=10;
p2=7000;
t3=400;
t5=400;
p4=800;
p5=p4;
p3=p2;
p6=p1;
% rendement isentropique de la pompe
np=0.92;
% rendement isentropique du premier étage de la turbine
nt1=0.88;
% rendement isentropique du deuxième étage de la turbine
nt2=0.88;

a4=[0.01    0.6117  0.001    206  0
2374.9  2374.9  0.001    2500.9
2500.9  0  9.1556  9.1556 ;
.....
373.95          22.064    0.003106
0.003106      2015.7    0    2015.7
2084.3        0          2084.3
4.407    0  4.407    ;
];

a5=[1.0      6.97    0.001000  129.19
29.302    2355.2    2384.5
29.303    2484.4    2513.7  0.1059
8.8690    8.9749;
.....
22064    373.95  0.003106
0.003106    2015.7    0    2015.7
2084.3  0  2084.3  4.407  0
4.407    ;
];

```

```

[n4,m4]=size(a4);
[n5,m5]=size(a5);

for i=1:n5
    if a5(i,1)>=p1
        v1=a5(i-1,3)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,3)-a5(i-1,3))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        h1=a5(i-1,8)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,8)-a5(i-1,8))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        t1=a5(i-1,2)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,2)-a5(i-1,2))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sf1=a5(i-1,11)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,11)-a5(i-1,11))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sg1=a5(i-1,13)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,13)-a5(i-1,13))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        hf1=h1;
        hg1=a5(i-1,10)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,10)-a5(i-1,10))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        s1= sf1;
        break
    end

end

wp=v1*(p2-p1);
h2=wp+h1;
% estimation de t2 pour le traçage du cycle
s2=s1;
liq=a7(p3);
[n7,m7]=size(liq);
for i=1:n7
    if liq(i,5)>=s2

        t2=liq(i-1,1)+(s2-liq(i-1,5))*(liq(i,1)-liq(i-1,1))/(liq(i,5)-liq(i-1,5));

        break
    end

end

tt0=liq(i:n7,1)
ss0=liq(i:n7,5)

for i=1:n5
    if a5(i,1)>=p3

        ts3=a5(i-1,2)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,2)-a5(i-1,2))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sf3=a5(i-1,11)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,11)-a5(i-1,11))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sg3=a5(i-1,13)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,13)-a5(i-1,13))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        hf3=a5(i-1,8)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,8)-a5(i-1,8))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        hg3=a5(i-1,10)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,10)-a5(i-1,10))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));

        break
    end

end

ta=a6(p3);
[n6,m6]=size(ta);
if t3>=ta(1,1)

for i=1:n6
    if ta(i,1)>=t3
        if i==1
            h3=hg3;
            s3=sg3;
        else
            h3=ta(i-1,4)+(t3-ta(i-1,1))*(ta(i,4)-ta(i-1,4))/(ta(i,1)-ta(i-1,1));
            s3=ta(i-1,5)+(t3-ta(i-1,1))*(ta(i,5)-ta(i-1,5))/(ta(i,1)-ta(i-1,1));
        end
        break
    end

end

end

tt=ta(2:i,1)
ss=ta(2:i,5)

tab_T1=[t1 t2 tt0' ts3 ts3 tt' t3]
tab_s1=[s1 s2 ss0' sf3 sg3 ss' s3]
s4=s3;
%
for i=1:n5
    if a5(i,1)>=p4

```

```

        ts4=a5(i-1,2)+(p4-a5(i-
1,1))*(a5(i,2)-a5(i-1,2))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        hf4=a5(i-1,8)+(p4-a5(i-
1,1))*(a5(i,8)-a5(i-1,8))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        t4=a5(i-1,2)+(p4-a5(i-
1,1))*(a5(i,2)-a5(i-1,2))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sf4=a5(i-1,11)+(p4-a5(i-
1,1))*(a5(i,11)-a5(i-1,11))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sg4=a5(i-1,13)+(p4-a5(i-
1,1))*(a5(i,13)-a5(i-1,13))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));

        hg4=a5(i-1,10)+(p4-a5(i-
1,1))*(a5(i,10)-a5(i-1,10))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));

        break

    end

end

if s4<=sg4
    x4=(s4-sf4)/(sg4-sf4);
    h4=x4*(hg4-hf4)+hf4;
    tab_T2=[ ts4 ts4]
tab_s2=[ s4 sg4]
m=2;
else
    tal=a6(p4);

    [n6,m6]=size(tal);

    for i=1:n6
        if tal(i,5)>=s4
            h4=tal(i-1,4)+(s4-tal(i-
1,5))*(tal(i,4)-tal(i-1,4))/
(tal(i,5)-tal(i-1,5));
            t4=tal(i-1,1)+(s4-tal(i-
1,5))*(tal(i,1)-tal(i-1,1))/
(tal(i,5)-tal(i-1,5));

            tab_T2=[ t4]
tab_s2=[ s4]
            m=i;
            break

        end

    end

end

end

%h5

```

```

ta=a6(p5);
if t5>=ta(1,1)
    [n6,m6]=size(ta);

    for i=1:n6
        if ta(i,1)>=t5
            h5=ta(i-1,4)+(t5-ta(i-
1,1))*(ta(i,4)-ta(i-1,4))/
(ta(i,1)-ta(i-1,1));
            s5=ta(i-1,5)+(t5-ta(i-
1,1))*(ta(i,5)-ta(i-1,5))/
(ta(i,1)-ta(i-1,1));
            break

        end

    end

end

end

mm=i-1;
tt1=ta(m:mm,1)
ss1=ta(m:mm,5)

%h6

s6=s5;
if s6<=sg1
    x6=(s6-sf1)/(sg1-sf1);
    h6=x6*(hg1-hf1)+hf1;
tab_T3=[tt1' t5 t1 t1]
tab_s3=[ss1' s5 s6 s1]
t6=t1;
else
    tal=a6(p1);

    [n6,m6]=size(tal);

    for i=1:n6
        if tal(i,5)>=s6
            h6=tal(i-1,4)+(s6-tal(i-
1,5))*(tal(i,4)-tal(i-1,4))/
(tal(i,5)-tal(i-1,5));
            t6=tal(i-1,1)+(s6-tal(i-
1,5))*(tal(i,1)-tal(i-1,1))/
(tal(i,5)-tal(i-1,5));
            tt2=flipud(tal(2:i-1,1))
ss2=flipud(tal(2:i-1,5))
            tab_T3=[tt1' t5 t6 tt2' t1 t1]
tab_s3=[ss1' s5 s6 ss2' sg1 s1]
            break

        end

    end

end

end

end

```

```

%s=[a4(:,11); flipud(a4(:,13))];
%t=[a4(:,1); flipud(a4(:,1))];
s=[a5(:,11); flipud(a5(:,13))];
t=[a5(:,2); flipud(a5(:,2))];
wt1=h4-h3;
wt2=h6-h5;
wt=wt1+wt2;
qh1=h3-h2;
qh2=h5-h4;
qh=qh1+qh2;
w=wp+wt;
rend=-100*w/qh;

```

```

% évolutions réelles

```

```

wpa=wp/np;
wta1=nt1*wt1;
wta2=nt2*wt2;
h2a=wpa+h1;
h4a=wta1+h3;
h6a=wta2+h5;
qh1a=h3-h2a;
qh2a=h5-h4a;
qha=qh1a+qh2a;
wta=wta1+wta2;

```

```

wa=wpa+wta;
renda=-100*wa/qha;
%estimation de t2a pour le
traçage

```

```

[n7,m7]=size(liq);
for i=1:n7
    if liq(i,4)>=h2a

        t2a=liq(i-1,1)+(h2a-liq(i-
1,4))*(liq(i,1)-liq(i-1,1))/
(liq(i,4)-liq(i-1,4));
        s2a=liq(i-1,5)+(h2a-liq(i-
1,4))*(liq(i,5)-liq(i-1,5))/
(liq(i,4)-liq(i-1,4));

```

```

        break

```

```

    end

```

```

end

```

```

    tta0=liq(i:n7,1)
    ssa0=liq(i:n7,5)

```

```

tab_T1a=[t1 t2a tta0' ts3 ts3 tt'
t3]

```

```

tab_s1a=[s1 s2a ssa0' sf3 sg3 ss'
s3]

```

```

% calcul de l'état 4a

```

```

ta1=a6(p4);

```

```

if h4a<=hg4

```

```

    x4a=(h4a-hf4)/(hg4-hf4);

```

```

    s4a=x4a*(sg4-sf4)+sf4;

```

```

    t4a=ts4;

```

```

    m=2;

```

```

    tab_T2a=[ ts4 ts4]

```

```

tab_s2a=[ s4a sg4]

```

```

else

```

```

    [n6,m6]=size(ta1);

```

```

for i=1:n6

```

```

    if ta1(i,4)>=h4a

```

```

        s4a=ta1(i-1,5)+(h4a-ta1(i-
1,4))*(ta1(i,5)-ta1(i-1,5))/
(ta1(i,4)-ta1(i-1,4));

```

```

        t4a=ta1(i-1,1)+(h4a-ta1(i-
1,4))*(ta1(i,1)-ta1(i-1,1))/
(ta1(i,4)-ta1(i-1,4));

```

```

        tab_T2a=[ t4a];

```

```

        tab_s2a=[ s4a];

```

```

        m=i;

```

```

        break

```

```

    end

```

```

end

```

```

end

```

```

tta1=ta1(m:mm,1)

```

```

ssa1=ta1(m:mm,5)

```

```

%*****

```

```

if h6a<=hg1

```

```

    x6a=(h6a-hf1)/(hg1-hf1);

```

```

    s6a=x6a*(sg1-sf1)+sf1;

```

```

    t6a=t1;

```

```

    tab_T3a=[tta1' t5 t1 t1]

```

```

    tab_s3a=[ssa1' s5 s6a s1]

```

```

else

```

```

    ta1=a6(p1);

```

```

    [n6,m6]=size(ta1);

```

```

for i=1:n6

```

```

    if ta1(i,4)>=h6a

```

```

        s6a=ta1(i-1,5)+(h6a-ta1(i-
1,4))*(ta1(i,5)-ta1(i-1,5))/
(ta1(i,4)-ta1(i-1,4));

```

```

        t6a=ta1(i-1,1)+(h6a-ta1(i-
1,4))*(ta1(i,1)-ta1(i-1,1))/
(ta1(i,4)-ta1(i-1,4));
        tta2=flipud(ta1(2:i-1,1))
ssa2=flipud(ta1(2:i-1,5))
        tab_T3a=[tta1' t5 t6a tta2' t1
t1]
tab_s3a=[ssa1' s5 s6a ssa2' sg1
s1]
        break

    end

end

end

te=[tab_T1 tab_T2 tab_T3]
se=[tab_s1 tab_s2 tab_s3]
tea=[tab_T1a tab_T2a tab_T3a]
sea=[tab_s1a tab_s2a tab_s3a]

figure (2)
plot(s,t,'linewidth',1.25);
title('Diagramme Ts du Cycle à
resurchauffe','fontweight','bold')
;
    xlabel('s (kJ/(K
kg)'),'fontweight','bold')
    ylabel('T
(°C)'),'fontweight','bold')
hold on

plot(se,te,'k','linewidth',2)
t = text([s1],
[t1],'1','FontSize', 8)
t = text([s2],
[t2],'2','FontSize', 8)
t = text([s3],
[t3],'3','FontSize', 8)
t = text([s4],
[t4],'4','FontSize', 8)
t = text([s5],
[t5],'5','FontSize', 8)
t = text([s6],
[t6],'6','FontSize', 8)
t = text([s2a],
[t2a],'2a','FontSize', 8)
t = text([s4a],
[t4a],'4a','FontSize', 8)
t = text([s6a],
[t6a],'6a','FontSize', 8)
plot(sea,tea,'r','linewidth',2)

clc

```

```

fprintf('\n*****
résultats :évolutions
isentropiques*****
*****')
fprintf('\n h1=%6.3f kJ/kg,
h2=%6.3f kJ/kg,h3=%6.3f kJ/kg
h4=%6.3f kJ/kg,h5=%6.3fkJ/kg
,h6=%6.3fkJ/kg',h1,h2,h3,h4,h5,h6)
fprintf('\n T1=%6.3f °C, T2=%6.3f
°C,T3=%6.3f °C T4=%6.3f °C
,T5=%6.3f °C ,T6=%6.3f
°C',t1,t2,t3,t4,t5,t6)

```

```

fprintf('\n le travail massique
consommé par la pompe =%6.3f
kJ/kg',wp)
fprintf('\n le travail massique
fourni par le premier étage de la
turbine =%6.3f kJ/kg',wt1)
fprintf('\n le travail massique
fourni par le deuxième étage de
la turbine =%6.3f kJ/kg',wt2)
fprintf('\n le travail massique
fourni par les deux étage de la
turbine =%6.3f kJ/kg',wt)
fprintf('\n le travail massique
net =%6.3f kJ/kg',w)
fprintf('\n la première quantité
de chaleur réellement reçue =%6.3f
kJ/kg',qh1)
fprintf('\n la deuxième quantité
de chaleur reçue =%6.3f
kJ/kg',qh2)
fprintf('\n la quantité de
chaleur totale reçue =%6.3f
kJ/kg',qh)
fprintf('\n le rendement de la TAV
=%6.3f %',rend)

```

```

fprintf('\n*****
résultats :évolutions
réelles*****
*****')

```

```

fprintf('\n h2a=%6.3f kJ/kg
h4a=%6.3f kJ/kg et h6a=%6.3f
kJ/kg',h2a,h4a,h6a)
fprintf('\n T2a=%6.3f °C T4a=%6.3f
°C et T6a=%6.3f °C',t2a,t4a,t6a)
fprintf('\n le travail massique
réel consommé par la pompe =%6.3f
kJ/kg',wpa)
fprintf('\n le travail massique
réel fourni par le premier étage
de la turbine =%6.3f kJ/kg',wta1)
fprintf('\n le travail massique
réel fourni par le deuxième étage
de la turbine =%6.3f kJ/kg',wta2)
fprintf('\n le travail massique
réel fourni par les deux étage de
la turbine =%6.3f kJ/kg',wta)

```

```
fprintf('\n le travail massique
net réel =%6.3f kJ/kg',wa)
fprintf('\n la première quantité
de chaleur réellement reçue =%6.3f
kJ/kg',qh1a)
fprintf('\n la deuxième quantité
de chaleur réellement reçue =%6.3f
kJ/kg',qh2a)
```

```
fprintf('\n la quantité de
chaleur totale réellement reçue
=%6.3f kJ/kg',qha)
fprintf('\n le rendement réel de
la TAV =%6.3f %\n',renda)
```

PROGRAMME 3 : CYCLE A UN SOUTIRAGE

```
%*****
%      Université ABDELHAMID IBN BADIS- MOSTAGANEM
%      Faculté des sciences et de la technologie
%      Département de Génie Mécanique
%*****
%      Cycle à un soutirage
%      *****
clear
clc
p1=10;
p2=200;
t5=600;
p4=5000;
p5=p4;
p3=p2;
p6=p2;
p7=p1;

a4=[0.01    0.6117  0.001    206 0    2374.9  2374.9  0.001    2500.9  2500.9
0 9.1556  9.1556 ;
.....
373.95      22.064    0.003106  0.003106    2015.7    0    2015.7
2084.3      0        2084.3    4.407    0 4.407 ;
];

a5=[1.0      6.97    0.001000 129.19    29.302  2355.2  2384.5  29.303
2484.4  2513.7  0.1059  8.8690  8.9749;
.....
22064  373.95  0.003106  0.003106  2015.7    0  2015.7  2084.3  0
2084.3  4.407  0  4.407 ;
];

[
n4,m4]=size(a4);
[n5,m5]=size(a5);
% état 1
for i=1:n5
    if a5(i,1)>=p1
        v1=a5(i-1,3)+(p1-a5(i-
1,1))*(a5(i,3)-a5(i-1,3))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        h1=a5(i-1,8)+(p1-a5(i-
1,1))*(a5(i,8)-a5(i-1,8))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        t1=a5(i-1,2)+(p1-a5(i-
1,1))*(a5(i,2)-a5(i-1,2))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sf1=a5(i-1,11)+(p1-a5(i-
1,1))*(a5(i,11)-a5(i-1,11))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
```

```

    sg1=a5(i-1,13)+(p1-a5(i-
1,1))*(a5(i,13)-a5(i-1,13))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
    hf1=h1;
    hg1=a5(i-1,10)+(p1-a5(i-
1,1))*(a5(i,10)-a5(i-1,10))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
    s1= sf1;
    ts1=t1;
    break
end
end

```

end

```

h2=h1+v1*(p2-p1);
% estimation de t2 pour le traçage
du cycle
s2=s1;
liq=a7(p2);
[n7,m7]=size(liq);
for i=1:n7
    if liq(i,5)>=s2

        t2=liq(i-1,1)+(s2-liq(i-
1,5))*(liq(i,1)-liq(i-1,1))/
(liq(i,5)-liq(i-1,5));

        break
end
end

```

end

```

tt0=liq(i:n7,1)
ss0=liq(i:n7,5)

```

```

for i=1:n5
    if a5(i,1)>=p3
        v3=a5(i-1,3)+(p3-a5(i-
1,1))*(a5(i,3)-a5(i-1,3))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        h3=a5(i-1,8)+(p3-a5(i-
1,1))*(a5(i,8)-a5(i-1,8))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        t3=a5(i-1,2)+(p3-a5(i-
1,1))*(a5(i,2)-a5(i-1,2))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sf3=a5(i-1,11)+(p3-a5(i-
1,1))*(a5(i,11)-a5(i-1,11))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sg3=a5(i-1,13)+(p3-a5(i-
1,1))*(a5(i,13)-a5(i-1,13))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        hf3=h3;
    end
end

```

```

    hg3=a5(i-1,10)+(p3-a5(i-
1,1))*(a5(i,10)-a5(i-1,10))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
    s3= sf3;
    ts3=t3;
    break
end
end

```

end

```

h4=h3+v3*(p4-p3);
% estimation de t4 pour le traçage
du cycle
s4=s3;
liq=a7(p4);
[n7,m7]=size(liq);
for i=1:n7
    if liq(i,5)>=s4

        t4=liq(i-1,1)+(s4-liq(i-
1,5))*(liq(i,1)-liq(i-1,1))/
(liq(i,5)-liq(i-1,5));

        break
end
end

```

end

```

tt01=liq(i:n7,1)
ss01=liq(i:n7,5)

```

% état 5

% pour vérifier l'état 5

```

for i=1:n5
    if a5(i,1)>=p5

        ts5=a5(i-1,2)+(p5-a5(i-
1,1))*(a5(i,2)-a5(i-1,2))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sf5=a5(i-1,11)+(p5-a5(i-
1,1))*(a5(i,11)-a5(i-1,11))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sg5=a5(i-1,13)+(p5-a5(i-
1,1))*(a5(i,13)-a5(i-1,13))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        hf5=a5(i-1,8)+(p5-a5(i-
1,1))*(a5(i,8)-a5(i-1,8))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        hg5=a5(i-1,10)+(p5-a5(i-
1,1))*(a5(i,10)-a5(i-1,10))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));

        break
end
end

```

end

```

end

% calcul de l'état 5
ta=a6(p5);
if t5>=ta(1,1)
    [n6,m6]=size(ta);

    for i=1:n6
        if ta(i,1)>=t5
            h5=ta(i-1,4)+(t5-ta(i-1,1))*(ta(i,4)-ta(i-1,4))/(ta(i,1)-ta(i-1,1));
            s5=ta(i-1,5)+(t5-ta(i-1,1))*(ta(i,5)-ta(i-1,5))/(ta(i,1)-ta(i-1,1));
            break
        end

    end

end
%
end

tt=ta(2:i,1)
ss=ta(2:i,5)
tab_T1=[t1 t2 tt0' ts3 t4 tt01'
ts5 ts5 tt' t5]
tab_s1=[s1 s2 ss0' sf3 s4 ss01'
sf5 sg5 ss' s5]
% état6
%calcul de l'état 6
s6=s5;
if s6<=sg3
    x6=(s6-sf3)/(sg3-sf3);
    h6=x6*(hg3-hf3)+hf3;
    tab_T2=[ ts3 ]
    tab_s2=[ s6 ]
    t6=ts3;
    tabt=[ t6 ts3];
    tabs=[ s6 sf3];
    m=2;
    mx4=1;
else
    ta1=a6(p6);
    mx4=0;
    [n6,m6]=size(ta1);

    for i=1:n6
        if ta1(i,5)>=s6
            h6=ta1(i-1,4)+(s6-ta1(i-1,5))*(ta1(i,4)-ta1(i-1,4))/(ta1(i,5)-ta1(i-1,5));
            t6=ta1(i-1,1)+(s6-ta1(i-1,5))*(ta1(i,1)-ta1(i-1,1))/(ta1(i,5)-ta1(i-1,5));

            tab_T3=[ t7 ts1 ts1 ]
            tab_s3=[ s7 sg1 s1]
            m=i;
            break

        end

    end

end

tab_T2=[ t6]

tab_s2=[ s6]
tabt=[ t6 ts3 ts3];
tabs=[ s6 sg3 sf3];
    m=i;
    break

end

end
%état 7
%calcul de l'état 7
s7=s5;
if s7<=sg1
    x7=(s6-sf1)/(sg1-sf1);
    h7=x7*(hg1-hf1)+hf1;
    tab_T3=[ ts1 ts1]
    tab_s3=[ s7 sf1]
    t7=t1;
    m=2;
    mx7=1;
else
    ta1=a6(p6);
    mx7=0;
    [n6,m6]=size(ta1);

    for i=1:n6
        if ta1(i,5)>=s7
            h7=ta1(i-1,4)+(s7-ta1(i-1,5))*(ta1(i,4)-ta1(i-1,4))/(ta1(i,5)-ta1(i-1,5));
            t7=ta1(i-1,1)+(s7-ta1(i-1,5))*(ta1(i,1)-ta1(i-1,1))/(ta1(i,5)-ta1(i-1,5));

            tab_T3=[ t7 ts1 ts1 ]
            tab_s3=[ s7 sg1 s1]
            m=i;
            break

        end

    end

end

end

% calcul de la fraction soutirée

y=(h3-h2)/(h6-h2);
% calcul du travail de la première pompe
wp1=(1-y)*(h2-h1);
% calcul du travail de la deuxième pompe
wp2=(h4-h3);

```

```
% calcul du travail des deux
pompes
wp=wp1+wp2;
% calcul du travail de la turbine
wt=h6-h5+(1-y)*(h7-h6);
% calcul du travail net
w=wt+wp;
% calcul de la quantité de chaleur
reçue
qh=h5-h4;
% calcul du rendement thermique
rend=-w/qh;

s=[a5(:,11); flipud(a5(:,13))];
t=[a5(:,2); flipud(a5(:,2))];
te=[tab_T1 tab_T2 tab_T3 ];
se=[tab_s1 tab_s2 tab_s3];
```

figure (12)

```
plot(s,t,'linewidth',1.25);
title('Diagramme Ts du Cycle à un
soutirage','fontweight','bold');
xlabel('s (kJ/(K
kg)'),'fontweight','bold')
ylabel('T
(°C)'),'fontweight','bold')
hold on
t = text([s1,
[t1],'1','FontSize', 8)
t = text([s2,
[t2],'2','FontSize', 8)
t = text([s3,
[t3],'3','FontSize', 8)
t = text([s4,
[t4],'4','FontSize', 8)
t = text([s5,
[t5],'5','FontSize', 8)
t = text([s6,
[t6],'6','FontSize', 8)
t = text([s7,
[t7],'7','FontSize', 8)
```

```
plot(se,te,'r','linewidth',2)
plot(tabs,tabt,'r','linewidth',2)

clc
fprintf('\n*****
Résultats
*****')

fprintf('\n h1=%6.3f kJ/kg,
h2=%6.3f kJ/kg,h3=%6.3f kJ/kg
h4=%6.3f ,h5=%6.3fkJ/kg
,h6=%6.3fkJ/kg,
,h7=%6.3fkJ/kg',h1,h2,h3,h4,h5,h6,
h7)
fprintf('\n t1=%6.3f °C, t2=%6.3f
°C,t3=%6.3f °C t4=%6.3f
,t5=%6.3f°C ,t6=%6.3f°C,
,t7=%6.3f°C',t1,t2,t3,t4,t5,t6,t7)
fprintf('\n le volume massiques
v3=%6.6f m^3/kg ',v3);
fprintf('\n la fraction
soutirée=%6.3f ',y)
fprintf('\n le travail massique
consommé par la première pompe
=%6.3f kJ/kg',wp1)
fprintf('\n le travail massique
consommé par la deuxième pompe
=%6.3f kJ/kg',wp2)
fprintf('\n le travail massique
consommé par les deux pompes
=%6.3f kJ/kg',wp)

fprintf('\n le travail massique
fourni par la turbine =%6.3f
kJ/kg',wt)
fprintf('\n le travail massique
net =%6.3f kJ/kg',w)

fprintf('\n la quantité de
chaleur reçue =%6.3f kJ/kg',qh)
fprintf('\n le rendement de la TAV
=%6.3f %',rend*100)
```

PROGRAMME 4: CYCLE A DEUX SOUTIRAGES

```
%*****
% Université ABDELHAMID IBN BADIS- MOSTAGANEM
% Faculté des sciences et de la technologie
% Département de Génie Mécanique
%*****
% Cycle à deux soutirages
% *****

clear
clc
p1=10;
p2=200;
```

```

t7=600;
p4=1000;
p6=5000;
p7=p6;
p5=p4;
p3=p2;
p9=p2;
p8=p4;
p10=p1;

a4=[0.01    0.6117  0.001    206  0
2374.9  2374.9  0.001    2500.9
2500.9  0  9.1556  9.1556 ;
.....
373.95          22.064    0.003106
0.003106      2015.7    0    2015.7
2084.3        0          2084.3
4.407    0  4.407    ;
];

a5=[1.0      6.97    0.001000  129.19
29.302  2355.2    2384.5
29.303  2484.4    2513.7  0.1059
8.8690  8.9749;
.....
22064  373.95  0.003106
0.003106  2015.7    0    2015.7
2084.3  0  2084.3  4.407    0
4.407    ;
];
[n4,m4]=size(a4);
[n5,m5]=size(a5);
% état 1

for i=1:n5
    if a5(i,1)>=p1
        v1=a5(i-1,3)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,3)-a5(i-1,3))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        h1=a5(i-1,8)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,8)-a5(i-1,8))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        t1=a5(i-1,2)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,2)-a5(i-1,2))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sf1=a5(i-1,11)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,11)-a5(i-1,11))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sg1=a5(i-1,13)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,13)-a5(i-1,13))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        hf1=h1;
        hg1=a5(i-1,10)+(p1-a5(i-1,1))*(a5(i,10)-a5(i-1,10))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        s1= sf1;
        ts1=t1;
        break
    end

end

end

h2=h1+v1*(p2-p1);
% estimation de t2 pour le traçage
du cycle
s2=s1;
liq=a7(p2);
[n7,m7]=size(liq);
for i=1:n7
    if liq(i,5)>=s2

        t2=liq(i-1,1)+(s2-liq(i-1,5))*(liq(i,1)-liq(i-1,1))/(liq(i,5)-liq(i-1,5));

        break
    end

end

end

tt0=liq(i:n7,1)
ss0=liq(i:n7,5)

for i=1:n5
    if a5(i,1)>=p3
        v3=a5(i-1,3)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,3)-a5(i-1,3))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        h3=a5(i-1,8)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,8)-a5(i-1,8))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        t3=a5(i-1,2)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,2)-a5(i-1,2))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sf3=a5(i-1,11)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,11)-a5(i-1,11))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sg3=a5(i-1,13)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,13)-a5(i-1,13))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        hf3=h3;
        hg3=a5(i-1,10)+(p3-a5(i-1,1))*(a5(i,10)-a5(i-1,10))/(a5(i,1)-a5(i-1,1));
    end
end

```

```

s3= sf3;
ts3=t3;
break

end

end

h4=h3+v3*(p4-p3);
% estimation de t4 pour le traçage
du cycle
s4=s3;
liq=a7(p4);
[n7,m7]=size(liq);
for i=1:n7
    if liq(i,5)>=s4

        t4=liq(i-1,1)+(s4-liq(i-
1,5))*(liq(i,1)-liq(i-1,1))/
(liq(i,5)-liq(i-1,5));

        break

    end

end

end
tt01=liq(i:n7,1)
ss01=liq(i:n7,5)
for i=1:n5
    if a5(i,1)>=p5
        v5=a5(i-1,3)+(p5-a5(i-
1,1))*(a5(i,3)-a5(i-1,3))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        h5=a5(i-1,8)+(p5-a5(i-
1,1))*(a5(i,8)-a5(i-1,8))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        t5=a5(i-1,2)+(p5-a5(i-
1,1))*(a5(i,2)-a5(i-1,2))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sf5=a5(i-1,11)+(p5-a5(i-
1,1))*(a5(i,11)-a5(i-1,11))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sg5=a5(i-1,13)+(p5-a5(i-
1,1))*(a5(i,13)-a5(i-1,13))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        hf5=h5;
        hg5=a5(i-1,10)+(p5-a5(i-
1,1))*(a5(i,10)-a5(i-1,10))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        s5= sf5;
        ts5=t5;
        break

    end

end

end

h6=h5+v5*(p6-p5);
% estimation de t4 pour le traçage
du cycle
s6=s5;
liq=a7(p6);
[n7,m7]=size(liq);
for i=1:n7
    if liq(i,5)>=s6

        t6=liq(i-1,1)+(s6-liq(i-
1,5))*(liq(i,1)-liq(i-1,1))/
(liq(i,5)-liq(i-1,5));

        break

    end

end

tt011=liq(i:n7,1)
ss011=liq(i:n7,5)

% état 7
% pour vérifier l'état 7

for i=1:n5
    if a5(i,1)>=p7

        ts7=a5(i-1,2)+(p7-a5(i-
1,1))*(a5(i,2)-a5(i-1,2))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sf7=a5(i-1,11)+(p7-a5(i-
1,1))*(a5(i,11)-a5(i-1,11))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        sg7=a5(i-1,13)+(p7-a5(i-
1,1))*(a5(i,13)-a5(i-1,13))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        hf7=a5(i-1,8)+(p7-a5(i-
1,1))*(a5(i,8)-a5(i-1,8))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));
        hg7=a5(i-1,10)+(p7-a5(i-
1,1))*(a5(i,10)-a5(i-1,10))/
(a5(i,1)-a5(i-1,1));

        break

    end

end

end

% calcul de l'état 7
ta=a6(p7);
if t7>=ta(1,1)
    [n6,m6]=size(ta);

```

```

for i=1:n6
    if ta(i,1)>=t7
        h7=ta(i-1,4)+(t7-ta(i-1,1))*(ta(i,4)-ta(i-1,4))/(ta(i,1)-ta(i-1,1));
        s7=ta(i-1,5)+(t7-ta(i-1,1))*(ta(i,5)-ta(i-1,5))/(ta(i,1)-ta(i-1,1));
        break
    end

end

%
end
tt=ta(2:i,1)
ss=ta(2:i,5)
tab_T1=[t1 t2 tt0' ts3 t4 tt01'
ts5 t6 tt011' ts7 ts7 tt' t7];
tab_s1=[s1 s2 ss0' sf3 s4 ss01'
sf5 s6 ss011' sf7 sg7 ss' s7];
% état8
%calcul de l'état 8
s8=s7;
if s8<=sg5
    x8=(s8-sf5)/(sg5-sf5);
    h8=x8*(hg5-hf5)+hf5;

t8=ts5;
tabt=[ t8 ts5];
tabs=[ s8 sf5];

else
    tal=a6(p8);

    [n6,m6]=size(tal);

for i=1:n6
    if tal(i,5)>=s8
        h8=tal(i-1,4)+(s8-tal(i-1,5))*(tal(i,4)-tal(i-1,4))/(tal(i,5)-tal(i-1,5));
        t8=tal(i-1,1)+(s8-tal(i-1,5))*(tal(i,1)-tal(i-1,1))/(tal(i,5)-tal(i-1,5));

tabt=[ t8 ts5 ts5];
tabs=[ s8 sg5 sf5];

        break

    end

end

end
end

% état9
%calcul de l'état 9
s9=s7;
if s9<=sg3
    x9=(s9-sf3)/(sg3-sf3);
    h9=x9*(hg3-hf3)+hf3;

t9=ts3;
tabt1=[ t9 ts3];
tabs1=[ s9 sf3];

else
    tal=a6(p9);

    [n6,m6]=size(tal);

for i=1:n6
    if tal(i,5)>=s9
        h9=tal(i-1,4)+(s9-tal(i-1,5))*(tal(i,4)-tal(i-1,4))/(tal(i,5)-tal(i-1,5));
        t9=tal(i-1,1)+(s9-tal(i-1,5))*(tal(i,1)-tal(i-1,1))/(tal(i,5)-tal(i-1,5));

tabt1=[ t9 ts3 ts3];
tabs1=[ s9 sg3 sf3];

        break

    end

end

end

tab_T2=[ t8 t9]
tab_s2=[ s8 s9 ]
%état 10
%calcul de l'état 10
s10=s7;
if s10<=sg1
    x10=(s10-sf1)/(sg1-sf1);
    h10=x10*(hg1-hf1)+hf1;
    tab_T3=[ ts1 ts1]
tab_s3=[ s10 sf1]
t10=t1;

else
    tal=a6(p10);

    [n6,m6]=size(tal);

for i=1:n6
    if tal(i,5)>=s10

```

```

        h10=ta1(i-1,4)+(s10-ta1(i-1,5))*(ta1(i,4)-ta1(i-1,4))/(ta1(i,5)-ta1(i-1,5));
        t10=ta1(i-1,1)+(s10-ta1(i-1,5))*(ta1(i,1)-ta1(i-1,1))/(ta1(i,5)-ta1(i-1,5));

        tab_T3=[ t10 ts1 ts1 ]
        tab_s3=[ s10 sg1 s1]

        break

    end

end
end
% calcul des fractions soutirées

y=(h5-h4)/(h8-h4);
z=(1-y)*(h3-h2)/(h9-h2);
% calcul du travail de la première pompe
wp1=(1-y-z)*(h2-h1);
% calcul du travail de la deuxième pompe
wp2=(1-y)*(h4-h3);
% calcul du travail de la troisième pompe
wp3=(h6-h5);
% calcul du travail des trois pompes
wp=wp1+wp2+wp3;
% calcul du travail de la turbine
wt=(h8-h7)+(1-y)*(h9-h8)+(1-y-z)*(h10-h9);
% calcul du travail net
w=wt+wp;
% calcul de la quantité de chaleur reçue
qh=h7-h6;
% calcul du rendement thermique
rend=-w/qh;

s=[a5(:,11); flipud(a5(:,13))];
t=[a5(:,2); flipud(a5(:,2))];

te=[tab_T1 tab_T2 tab_T3];
se=[tab_s1 tab_s2 tab_s3];

figure (27)
plot(s,t,'linewidth',1.25);
title('Diagramme Ts du Cycle à deux soutirages','fontweight','bold');
xlabel('s (kJ/(K kg))','fontweight','bold')
ylabel('T (°C)','fontweight','bold')
hold on

```

```

t = text([s1],
[t1],'1','FontSize', 8)
t = text([s2],
[t2],'2','FontSize', 8)
t = text([s3],
[t3],'3','FontSize', 8)
t = text([s4],
[t4],'4','FontSize', 8)
t = text([s5],
[t5],'5','FontSize', 8)
t = text([s6],
[t6],'6','FontSize', 8)
t = text([s7],
[t7],'7','FontSize', 8)
t = text([s8],
[t8],'8','FontSize', 8)
t = text([s9],
[t9],'9','FontSize', 8)
t = text([s10],
[t10],'10','FontSize', 8)
plot(se,te,'r','linewidth',2)
plot(tab_s,tab_t,'r','linewidth',2)
plot(tab_s1,tab_t1,'r','linewidth',2)
)

clc
fprintf('\n*****
Résultats
*****')

fprintf('\n h1=%6.3f kJ/kg,
h2=%6.3f kJ/kg,h3=%6.3f kJ/kg
h4=%6.3f ,h5=%6.3fkJ/kg
',h1,h2,h3,h4,h5)
fprintf('\n h6=%6.3fkJ/kg,
h7=%6.3fkJ/kg,h8=%6.3fkJ/kg,h9=%6.3fkJ/kg,h10=%6.3fkJ/kg',h6,h7,h8,h9,h10)
fprintf('\n t1=%6.3f °C, t2=%6.3f °C,t3=%6.3f °C t4=%6.3f °C,t5=%6.3f°C ',t1,t2,t3,t4,t5)
fprintf('\n t6=%6.3f°C,
,t7=%6.3f°C,t8=%6.3f°C,t9=%6.3f°C,
t10=%6.3f°C',t6,t7,t8,t9,t10)
fprintf('\n les volumes massiques
v3=%6.6f m^3/kg et v5=%6.6f m^3/kg
',v3,v5);
fprintf('\n la fraction soutirée
lors du premier sotirage y=%6.3f
',y);
fprintf('\n la fraction soutirée
lors du deuxime sotirage z=%6.3f
',z)

fprintf('\n le travail massique
consommé par la première pompe
=%6.3f kJ/kg',wp1)
fprintf('\n le travail massique
consommé par la deuxième pompe
=%6.3f kJ/kg',wp2)

```

```
fprintf('\n le travail massique  
consommé par la troisième pompe  
=%6.3f kJ/kg',wp3)  
fprintf('\n le travail massique  
consommé par les trois pompes  
=%6.3f kJ/kg',wp)  
  
fprintf('\n le travail massique  
fourni par la turbine =%6.3f  
kJ/kg',wt)  
fprintf('\n le travail massique  
net =%6.3f kJ/kg',w)  
  
fprintf('\n la quantité de  
chaleur reçue =%6.3f kJ/kg',qh)  
fprintf('\n le rendement de la TAV  
=%6.3f %',rend*100)
```