

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté du génie de la construction, département de génie-mécanique

Domaine : sciences et technologies

# Mémoire

Pour l'obtention du Diplôme Master Académique

Spécialité : Génie Mécanique

Option : énergétique

## Thème

Effet de soutirages sur l'efficacité d'une installation de  
turbine à vapeur

Présenté par :

KERMANE Lyes  
ABDRRAHMANI Akli

Encadré par :

M<sup>r</sup> M. HAMZAOUI

Année Académique : 2022-2023

# Dédicaces



*Je dédie ce modeste travail :*

*À mes chers et respectueux parents pour  
tous leurs sacrifices,*

*Pour que je puisse atteindre mes objectifs.*

*À mes sœurs, À mes frères pour leur appui et  
leur encouragement.*

*À toute ma famille et mes amis proches.*

**Kermane Lyes.**

# Dédicaces

Malgré les obstacles qui s'opposent, des difficultés qui s'interposent, les études sont avant tout notre unique et seul atout

Avant tout je remercie le Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail ; que je dédie :

A Ma très chère mère, ma raison de vivre, la lumière de mes jours qui éclaire mon chemin, la source de mes efforts, ma vie et mon bonheur que j'adore.

A Mon cher père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privation pour m'aider à avancer dans la vie.

A mes chers frères et sœurs pour leurs amour et confiances en moi et leurs soutiens.

A mes amis de toujours et à tous mes amis de ma promotion en souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère

*ABDERRAHMANI Akli*

# Remerciement

Tout d'abord nous remercions le bon dieu qui nous a aidées pour  
atteindre notre objectif.

Nous tenons à remercier dignement, profondément et sincèrement  
notre promoteur Mr: HAMZAOUI pour son aide, sa patience, et  
ses précieux conseils.

Nos remerciements à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à  
l'élaboration de ce mémoire.

Nos remerciements à nos familles et tous les amis .

Enfin, nous tenons à remercier également les membres de jury qui  
nous feront l'honneur de juger notre travail.

# Sommaire

✚ Dédicaces

✚ Remerciement

✚ Sommaire

✚ Nomenclature

✚ Liste des figures

✚ Liste des tableaux

✚ Résumé

✚ Introduction générale

## 1. Chapitre I : Généralités sur les turbines à vapeur

1.1	Introduction .....	1
1.2	Définition d'une turbine à vapeur.....	1
1.3	Objet de la turbine à vapeur sa place dans la central.....	1
1.4	Principe d'une turbine à vapeur.....	2
1.5	Différents types de turbine à vapeur.....	2
1.5.1	Selon l'utilisation.....	3
1.5.2	Par le nombre d'étages de rotor.....	3
1.5.3	Selon la forme de la veine de vapeur.....	3
1.5.4	Selon le mode de construction.....	4
1.6	Les Éléments constitutifs d'une centrale thermique à vapeur .....	4
1.6.1	La pompe .....	5
1.6.2	La chaudière .....	5
1.6.3	La turbine.....	6
1.6.4	Le condenseur.....	6
1.7	Avantages est les inconvénients de la turbine à vapeur.....	7
1.7.1	Avantages de la turbine à vapeur.....	7
1.7.2	Les inconvénients .....	7

# Sommaire

---

<b>2</b>	<b>Chapitre II : Méthode d'optimisation. ....</b>	<b>10</b>
2.1	Introduction .....	10
2.2	Inspiration.....	10
2.3	L'algorithme GWO .....	13
2.4	Le modèle mathématique .....	13
2.5	L'organigramme de l'algorithme Grey Wolf Optimiser.....	15
<b>3</b>	<b>Chapitre III : Installation avec un seul Soutirage et un seul Mélangeur .....</b>	<b>17</b>
3.1	Cycle de Rankine de base.....	17
3.2	Installation avec un seul Soutirage et un seul Mélangeur (cycle I) .....	18
3.3	Analyse thermodynamique .....	19
3.4	Performance de cycle avec réchauffeur par mélange .....	24
3.5	L'organigramme de calcul .....	25
3.6	Les résultats du premier programme .....	30
3.7	Les résultats d'optimisation.....	38
3.8	Conclusion .....	41
<b>4</b>	<b>Chapitre IV : Installation avec deux soutirages et deux mélangeurs. ....</b>	<b>42</b>
4.1	Description de Schéma d'installation.....	42
4.2	Etude thermodynamique.....	43
4.3	Performance de cycle avec réchauffeur par mélange .....	45
4.4	L'organigramme de calcul :.....	46
4.5	Le résultat deuxième programme .....	52
4.6	Les résultats d'optimisation.....	67
4.7	Conclusion .....	73
<b>5</b>	<b>Chapitre V : Installation avec deux soutirages et deux mélangeurs.....</b>	<b>75</b>
5.1	Description de Schéma d'installation.....	75
5.2	Etude thermodynamique.....	76
5.3	Performance de cycle .....	79
5.4	L'organigramme de calcul :.....	80
5.5	Les résultats de troisième programme .....	86
5.6	Conclusion.....	101

## Sommaire

---

<b>6</b>	<b>Chapitre VI :Installation avec resurchauffe et trois soutirages et trois mélangeurs. ....</b>	<b>104</b>
6.1	Description de Schéma d'installation.....	104
6.2	Etude thermodynamique.....	105
6.3	Performance de cycle .....	108
6.4	L'organigramme de calcule.....	110
6.5	Le résultat de quatrième programme.....	116
6.6	Conclusion.....	129
	<b>Conclusion générale.....</b>	<b>140</b>

### Nomenclatures

$m$	Débit massique	[kg/s]
$h$	Enthalpie	[kJ]
$P$	Pression	[bar]
$T$	Température	[°C]
$T_0$	Température de référence	[°C]
$W_t$	Travail de la turbine à vapeur	[kJ/kg]
$\dot{W}_t$	Puissance fournie par turbine à vapeur	[kW]
$W_{net}$	Travail net du cycle	[kJ/kg]
$W_p$	Travail massique consommé par la pompe	[kJ/kg]
$Q_{ch}$	La chaleur consomme par la chaudière	[kJ/kg]
$\dot{Q}_{ch}$	La puissance consomme par la chaudière	[kW]
$\eta_{th}$	Rendement thermique du cycle	[%]
$Y$	Fraction massique	
$T_g$	Température du générateur de vapeur	[°C]
$P_g$	Pression de générateur	[bar]
$P_c$	Pression de condenseur	[bar]
$P_{s1}$	Pression de premier soutirage	[bar]
$P_{s2}$	Pression de deuxième soutirage	[bar]
$P_{s3}$	Pression de troisième soutirage	[bar]

## Nomenclatures

---

$T_{s1}$	Température du premier soutirage	[°C]
$T_{s2}$	Température du deuxième soutirage	[°C]
$T_{s3}$	Température du troisième soutirage	[°C]
$Y_{s1}$	Fraction massique du premier soutirage	
$Y_{s2}$	Fraction massique du deuxième soutirage	
$Y_{s3}$	Fraction massique du troisième soutirage	

---

---

### Liste des Figures

figure	nom	Page
<b>Chapitre I : généralité sur la turbine à vapeur</b>		
Figure 1.1	Schéma de la turbine à vapeur	05
Figure 1.2	schéma descriptif des deux chaudières	06
Figure 1.3	schéma de turbine	06
Figure 1.4	le condenseur	07
<b>Chapitre II : Méthode d'optimisation</b>		
Figure 2.1	Comportement de chasse des loups gris : (A) chasser, approcher et suivre des proies (B–D) poursuivre, harceler et encercler (E) situation stationnaire et attaque	12
Figure 2.2	Vecteurs de position 2D et 3D et leurs prochains emplacements possibles	12
<b>Cycle N° 01 : installation avec un seul soutirage et un seul mélangeur</b>		
Figure 3.1	<b>Schéma d'un cycle de Rankine</b>	17
Figure 3.2	installation avec un seul soutirage et un seul mélangeur	18
Figure 3.3	Cycle avec réchauffeur par mélange dans un diagramme T-s	18
Figure 3.4	schéma de 1 <sup>er</sup> pompe.	20
Figure 3.5	schéma de 2 <sup>ème</sup> pompe	20
Figure 3.6	Réchauffeur par mélangeur	21
Figure 3.7	La chaudière	22
Figure 3.8	Turbine avec deux soutrages.	23
Figure 3.9	Le Condenseur	24
Figure 3.10	La variation de rendement en fonction de température et pression et fraction massique soutirée	30
Figure 3.11	la variation de fraction massique soutirée, température de soutirage en fonction de pression de soutirage	32

## Liste des tableaux

Figure 3.12	Les effets de fraction massique sur le rendement	33
Figure 3.13	Les effets de pression de soutirage sur le rendement	34
Figure 3.14	Les effets de température de soutirage sur le rendement	35
Figure 3.15	Les effets de Pression de soutirage sur la Fraction massique soutirées	36
Figure 3.16	Les effets de pression de soutirage sur température de soutirage	38
<b>Résultat d'optimisation</b>		
Figure 3.18	Variation de la pression de soutirage en fonction de la température et de la pression de générateur	39
Figure 3.19	Variation du rendement en fonction de la température et de la pression du générateur	40
Figure 3.20	Variation de la température de soutirage en fonction de la température et la pression de générateur	40
Figure 3.21	Variation de la température de soutirage en fonction de la température et la pression de générateur	41
<b>Cycle N° 02 : Installation avec deux soutirages et deux Mélangeurs</b>		
Figure 4.1	schéma d'Installation avec deux soutirages et deux Mélangeurs	44
Figure 4.2	La variation de rendement en fonction de fraction massique soutirée $Y_{s1}$ et $Y_{s2}$	55
Figure 4.3	La variation de rendement en fonction de pression de soutirage $P_{s1}$ et $P_{s2}$	56
Figure 4.4	La variation de rendement en fonction de température de soutirage $T_{s1}$ et $T_{s2}$	57
Figure 4.5	la variation de température de soutirage $T_{s1}$ et fraction massique $Y_{s1}$ en fonction de $P_{s1}$	58
Figure 4.6	La variation de température de soutirage $T_{s2}$ et fraction massique $Y_{s2}$ en fonction de $P_{s2}$	59
Figure 4.7	les effets de fraction massique sur le rendement pour premier soutirage	60
Figure 4.8	Les effets de fraction massique sur le rendement pour deuxième soutirage	61
Figure 4.9	Les effets de pression de soutirage sur le rendement pour premier soutirage	62
Figure 4.10	Les effets de pression de soutirage sur le rendement pour deuxième soutirage	63

## Liste des tableaux

Figure 4.11	Les effets de température de soutirage sur le rendement pour premier soutirage	64
Figure 4.12	Les effets de température de soutirage sur le rendement pour deuxième soutirage	65
Figure 4.13	Les effets de pression de soutirage sur fraction massique soutirée pour premier soutirage	66
Figure 4.14	Les effets de pression de soutirage sur fraction massique soutirée pour deuxième soutirage	67
Figure 4.15	Les effets de pression de soutirage sur température de soutirage pour premier soutirage	68
Figure 4.16	Les effets de pression de soutirage sur température de soutirage pour deuxième soutirage	69
<b>Résultat d'optimisation</b>		
Figure 4.17	Variation du rendement en fonction de la température et de la pression du générateur	69
Figure 4.18	Variation de la pression de soutirage $P_{s1}$ en fonction de la température et de la pression du générateur	70
Figure 4.19	Variation de la pression de soutirage $P_{s2}$ en fonction de la température et de la pression du générateur	70
Figure 4.20	Variation de température de soutirage $T_{s1}$ en fonction de la température et de la pression du générateur	71
Figure 4.21	Variation de température de soutirage $T_{s2}$ en fonction de la température et de la pression du générateur	72
Figure 4.22	Variation de fraction massique $Y_{s1}$ en fonction de la température et de la pression du générateur	73
Figure 4.23	Variation de fraction massique $Y_{s2}$ en fonction de la température et de la pression du générateur	74

## Liste des tableaux

<b>Cycle N° 03 : installation avec resurchauffe et deux soutirage ( deux mélangeurs )</b>		
Figure 5.1	installation avec resurchauffe et deux soutirage et deux mélangeurs pour turbine (HP,BP)	<b>00</b>
Figure 5.2	La variation de rendement en fonction de fraction massique soutirée $Y_{s1}$ et $Y_{s2}$	<b>88</b>
Figure 5.3	La variation de rendement en fonction de pression de soutirage $P_{s1}$ et $P_{s2}$	<b>89</b>
Figure 5.4	La variation de rendement en fonction de température de soutirage $T_{s1}$ et $T_{s2}$	<b>89</b>
Figure 5.5	la variation de température de soutirage $T_{s1}$ et fraction massique $Y_{s1}$ en fonction de $P_{s1}$	<b>90</b>
Figure 5.6	La variation de température de soutirage $T_{s2}$ et fraction massique $Y_{s2}$ en fonction de $P_{s2}$	<b>91</b>
Figure 5.7	les effets de fraction massique sur le rendement pour premier soutirage	<b>92</b>
Figure 5.8	Les effets de fraction massique sur le rendement pour deuxième soutirage	<b>93</b>
Figure 5.9	Les effets de pression de soutirage sur le rendement pour premier soutirage	<b>94</b>
Figure 5.10	Les effets de pression de soutirage sur le rendement pour deuxième soutirage	<b>95</b>
Figure 5.11	Les effets de température de soutirage sur le rendement pour premier soutirage	<b>96</b>
Figure 5.12	Les effets de température de soutirage sur le rendement pour deuxième soutirage	<b>97</b>
Figure 5.13	Les effets de pression de soutirage sur fraction massique soutirée pour premier soutirage	<b>98</b>
Figure 5.14	Les effets de pression de soutirage sur fraction massique soutirée pour deuxième soutirage	<b>99</b>
Figure 5.15	Les effets de pression de soutirage sur température de soutirage pour premier soutirage	<b>100</b>
Figure 5.16	Les effets de pression de soutirage sur température de soutirage pour deuxième soutirage	<b>101</b>

## Liste des tableaux

<b>Résultat d'optimisation</b>		
Figure 5.17	Variation du rendement en fonction de $P_g$ et $T_g$	<b>102</b>
Figure 5.18	Variation de la pression de soutirage $P_{s1}$ en fonction de $P_g$ et $T_g$	<b>102</b>
Figure 5.19	Variation de la pression de soutirage $P_{s2}$ en fonction de $P_g$ et $T_g$	<b>103</b>
Figure 5.20	Evolution de la pression de la turbine HP a la sortie en fonction de $P_g$ et $T_g$	<b>104</b>
Figure 5.21	Variation de température de soutirage $T_{s1}$ en fonction de $P_g$ et $T_g$	<b>105</b>
Figure 5.22	Variation de température de soutirage $T_{s2}$ en fonction $P_g$ et $T_g$	<b>105</b>
Figure 5.23	Variation de fraction massique $Y_{s1}$ en fonction de $P_g$ et $T_g$	<b>106</b>
Figure 5.24	Variation de fraction massique $Y_{s2}$ en fonction $P_g$ et $T_g$	<b>107</b>

<b>Cycle N° 04 : Installation avec resurchauffe et trois soutirages et trois mélangeurs</b>		
Figure 6.1	schéma d'installation avec resurchauffe et trois soutirages et trois mélangeurs	<b>116</b>
Figure 6.2	La variation de rendement en fonction de fraction massique soutirée $Y_{s1}$ et $Y_{s2}$ et $Y_{s3}$	<b>117</b>
Figure 6.3	La variation de rendement en fonction de pression de soutirage $P_{s1}$ et $P_{s2}$ $P_{s3}$	<b>118</b>
Figure 6.4	La variation de rendement en fonction de température de soutirage $T_{s1}$ et $T_{s2}$ et $T_{s3}$	<b>119</b>
Figure 6.5	la variation de température de soutirage $T_{s1}$ et fraction massique $Y_{s1}$ en fonction de $P_{s1}$	<b>120</b>
Figure 6.6	La variation de température de soutirage $T_{s2}$ et fraction massique $Y_{s2}$ en fonction de $P_{s2}$	<b>121</b>
Figure 6.7	La variation de température de soutirage $T_{s3}$ et fraction massique $Y_{s3}$ en fonction de $P_{s3}$	<b>121</b>
Figure 6.8	les effets de fraction massique sur le rendement pour premier soutirage	<b>122</b>
Figure 6.9	Les effets de fraction massique sur le rendement pour deuxième soutirage	<b>123</b>
Figure 6.10	Les effets de fraction massique sur le rendement pour troisième soutirage	<b>123</b>
Figure 6.11	Les effets de pression de soutirage sur le rendement pour premier soutirage	<b>124</b>

## Liste des tableaux

---

Figure 6.12	Les effets de pression de soutirage sur le rendement pour deuxième soutirage	125
Figure 6.13	Les effets de pression de soutirage sur le rendement pour troisième soutirage	126
Figure 6.14	Les effets de température de soutirage sur le rendement pour premier soutirage	127
Figure 6.15	Les effets de température de soutirage sur le rendement pour deuxième soutirage	128
Figure 6.16	Les effets de température de soutirage sur le rendement pour troisième soutirage	128
<b>Résultat d'optimisation</b>		
Figure 6.23	La variation de rendement en fonction de température et pression de générateur de vapeur	129
Figure 6.24	La variation de la pression de premier soutirage en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur	129
Figure 6.25	La variation de la pression de deuxième soutirage en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur	130
Figure 6.26	La variation de la pression de troisième soutirage en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur	130
Figure 6.27	La variation de la température de premier soutirage en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur	13
Figure 6.28	La variation de la température de deuxième soutirage en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur	132
Figure 6.29	La variation de la température de troisième soutirage en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur	133
Figure 6.30	La variation de première fraction massique soutirée en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur	134
Figure 6.31	La variation de deuxième fraction massique soutirée en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur	135
Figure 6.32	La variation de troisième fraction massique soutirée en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur	135

## Liste des tableaux

---

### Liste des Tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 3.1.</b>	<b>analyses des bilans de masse et d'énergie pour les trois pompes (cycle 01)</b>	<b>30</b>
<b>Tableau 4.1</b>	<b>analyses des bilans de masse et d'énergie pour les trois pompes (cycle 02)</b>	<b>55</b>
<b>Tableau 5.1</b>	<b>analyses des bilans de masse et d'énergie pour les trois pompes (cycle 03)</b>	<b>65</b>
<b>Tableau 6.1</b>	<b>analyses des bilans de masse et d'énergie pour les trois pompes (cycle 04)</b>	<b>82</b>

### Résumé

Cette étude examine l'impact du soutirage sur l'économie d'énergie d'une turbine à vapeur. Le soutirage est une technique qui consiste à extraire une partie de la vapeur de la turbine à un point spécifique du cycle, avant qu'elle ne perde complètement son énergie. L'objectif de cette étude est d'évaluer les avantages et les coûts économiques du soutirage dans le contexte d'une turbine à vapeur. Les résultats montrent que le soutirage peut augmenter le rendement du cycle de la vapeur et donc réduire la quantité de combustible nécessaire pour produire une quantité donnée d'énergie. Cependant, il implique également des coûts supplémentaires en termes d'investissement, de maintenance et d'exploitation de la turbine. En fin de compte, le choix d'utiliser le soutirage dépend des coûts de l'énergie des coûts de maintenance de la turbine et des coûts d'investissement pour installer et utiliser un système de soutirage.

**Mots-clés:** turbine à vapeur, soutirage, économie d'énergie, coûts, rendement.

### Abstract

This study examines the impact of extraction on the energy economy of a steam turbine. Extraction is a technique that involves extracting a portion of the steam from the turbine at a specific point in the cycle, before it loses all of its energy. The objective of this study is to evaluate the economic benefits and costs of extraction in the context of a steam turbine. The results show that extraction can increase the efficiency of the steam cycle and therefore reduce the amount of fuel needed to produce a given amount of energy. However, it also involves additional costs in terms of investment maintenance, and operation of the turbine. Ultimately, the choice to use extraction depends on energy costs, turbine maintenance costs, and investment costs to install and use an extraction system.

**Keywords:** steam turbine, extraction, energy economy, costs, efficiency.

### ملخص

تبحث هذه الدراسة في تأثير السحب على توفير الطاقة في التوربينات البخارية. السحب هو تقنية لاستخراج بعض البخار من التوربين عند نقطة معينة في الدورة ، قبل أن يفقد طاقته تمامًا. الهدف من هذه الدراسة هو تقييم الفوائد الاقتصادية وتكاليف السحب في سياق التوربينات البخارية. تظهر النتائج أن السحب يمكن أن يزيد من كفاءة دورة البخار وبالتالي يقلل من كمية الوقود اللازمة لإنتاج كمية معينة من الطاقة. ومع ذلك ، فإنه ينطوي أيضًا على تكاليف إضافية من حيث الاستثمار والصيانة وتشغيل التوربين. في النهاية ، يعتمد اختيار استخدام الأرفف على تكاليف الطاقة وتكاليف صيانة التوربينات وتكاليف رأس المال لتثبيت وتشغيل نظام الأرفف

الكلمات المفتاحية: التوربينات البخارية ، السحب ، توفير الطاقة ، التكاليف ، الكفاءة

# Introduction générale

Les centrales électriques sont des installations industrielles d'une grande importance pour l'approvisionnement en électricité, qui est essentiel pour la vie moderne et le développement économique de tous les pays du monde. Elles fonctionnent en convertissant différentes formes d'énergie en énergie électrique, qui est ensuite distribuée aux réseaux électriques. Parmi les différentes technologies utilisées pour produire de l'électricité, on trouve des centrales qui utilisent des turbines à vapeur. Les turbines à vapeur sont des générateurs d'énergie mécanique qui fonctionnent en utilisant la vapeur d'eau pour produire une force de rotation qui est ensuite convertie en énergie électrique. Ces centrales électriques sont largement utilisées dans le monde entier pour produire de l'électricité à grande échelle de manière efficace et économique.

Compte tenu du rôle crucial des turbines dans la production d'énergie grâce aux progrès scientifiques et technologiques, il est impératif de les développer et de les améliorer en continu. Dans cette étude, nous avons choisi de nous pencher sur les effets du soutirage sur l'efficacité énergétique d'une turbine à vapeur.

Le soutirage peut avoir un impact significatif sur l'économie d'énergie d'une turbine à vapeur. En effet, en soutirant une partie de la vapeur produite par la turbine, on réduit la quantité d'énergie disponible pour produire de l'électricité, ce qui peut potentiellement diminuer l'efficacité énergétique de la turbine. Cependant, en optimisant le processus de soutirage, il est possible d'augmenter l'efficacité énergétique de la turbine en utilisant la vapeur soutirée pour d'autres processus ou en ajustant la quantité de vapeur soutirée en fonction des besoins de la turbine. Ainsi l'étude de l'effet du soutirage sur l'économie d'énergie d'une turbine à vapeur est importante pour maximiser l'utilisation de l'énergie produite et réduire les coûts de production.

Objectif du mémoire : Améliorer l'efficacité des turbines à vapeur en analysant l'impact du soutirage sur l'efficacité énergétique, la performance opérationnelle et la durabilité de ces machines. Cette étude se concentrera sur l'examen des effets de divers schémas de soutirage sur des paramètres clés tels que la production d'électricité et la consommation de vapeur

Le mémoire présenté comporte six chapitres structurés comme suit :

- **Chapitre 01** : généralités sur les turbins a vapeur.
  - **Chapitre 02** : Méthode d'optimisation.
  - **Chapitre 03** : cycle01, Installation avec un seul Soutirage et un seul Mélangeur.
  - **Chapitre 04** : cycle 02, installation avec deux soutirages et deux mélangeurs.
  - **Chapitre 05** : cycle 03, installation avec deux soutirages (deux mélangeurs et deux turbines haut et basse de pression).
  - **Chapitre 06** : cycle 04, installation avec trois soutirages et trois mélangeurs.
-



# Chapitre I :

## Généralités sur les turbines à vapeur.



# CHAPITRE I

# GENERALITES SUR LES TURBINES A VAPEUR.

---

## 1. Chapitre I : Généralités sur les turbines à vapeur.

### 1.1 Introduction

Aujourd'hui, les turbines à vapeur sont largement utilisées dans les centrales électriques pour la production d'énergie électrique. Le contenu de ce chapitre portera sur la turbine à vapeur, avec une présentation de sa définition générale, de son principe de fonctionnement, de son utilisation industrielle, ainsi que des composants principaux de la turbine à vapeur et de leurs avantages.

### 1.2 Définition d'une turbine à vapeur

Les Turbines à vapeur sont des machines relativement simples qui utilisent un jet de vapeur à grande vitesse pour entraîner une roue à aubes fixée à un arbre rotatif. [1]

Les turbines à vapeur sont des machines thermiques qui transforme l'énergie thermique contenue dans la vapeur d'eau en énergie mécanique sous forme de rotation d'un arbre. Elle est composée d'un ensemble de roues et de pales, appelées aubes, montées sur un arbre, qui sont mises en rotation par la vapeur d'eau sous pression. Cette rotation peut être utilisée pour produire de l'électricité, pour entraîner des pompes ou des compresseurs, ou pour d'autres applications nécessitant une source d'énergie mécanique

### 1.3 Objet de la turbine à vapeur sa place dans la central

La turbine à vapeur est un équipement clé dans une centrale thermique à vapeur. Son rôle est transformer en énergie mécanique l'énergie contenue dans la vapeur d'eau sous forme d'énergie thermique et d'énergie de pression. [2]

La turbine à vapeur est placée entre la chaudière et le générateur électrique dans la centrale. La vapeur haute pression produite par la chaudière est acheminée vers la turbine à vapeur, où elle passe à travers une série de pales disposées sur un rotor. La force de la vapeur fait tourner le rotor qui est connecté à un arbre qui entraîne le générateur électrique pour produire de l'électricité.

En résumé, la turbine à vapeur est responsable de la conversion de l'énergie thermique en énergie mécanique, ce qui permet de produire de l'électricité dans une centrale thermique à vapeur.

### 1.4 Principe d'une turbine à vapeur

Le principe de fonctionnement de la turbine à vapeur repose sur la conversion de l'énergie thermique de la vapeur en énergie mécanique de rotation de l'arbre de la turbine. La vapeur sous pression est introduite dans la turbine à travers des conduites et est dirigée vers les aubes de la roue de la turbine. Lorsque la vapeur s'écoule à travers les aubes, elle transfère son énergie cinétique à la roue, ce qui entraîne la rotation de l'arbre de la turbine. L'énergie thermique de la vapeur est convertie en énergie mécanique à l'aide des aubes.

L'expansion est réalisée par une série d'aubes fixes qui dirigent la vapeur vers les jets à grande vitesse. Ces jets contiennent beaucoup d'énergie cinétique, qui est convertie en rotation de l'arbre par les pales du rotor lorsque le jet de vapeur change de direction. Le jet de vapeur qui se déplace à la surface incurvée exerce une pression sur l'aube en raison de sa force centrifuge. Chaque rangée des aubes fixes et mobiles est appelée un étage. Le rotor tourne avec les pales de la turbine et les aubes directrices sont disposées concentriquement dans le carter circulaire de la turbine. [3]

Les aubes de la turbine sont conçues de manière à maximiser la conversion de l'énergie cinétique de la vapeur en énergie mécanique de rotation, tout en minimisant les pertes d'énergie par frottement et turbulence. La vapeur qui quitte les aubes de la turbine est dirigée vers un condenseur, où elle est refroidie et condensée en eau. Cette eau est alors réutilisée pour produire de la vapeur, créant ainsi un cycle continu.

La régulation de la vitesse et de la puissance de la turbine est assurée par des régulateurs de vitesse et des systèmes de commande qui ajustent la quantité de vapeur admise dans la turbine.

La turbine à vapeur est un composant clé dans les centrales électriques thermiques, où elle est utilisée pour produire de l'électricité en faisant tourner un générateur électrique connecté à l'arbre de la turbine.

### 1.5 Différents types de turbine à vapeur

Il existe plusieurs types de turbines à vapeur, chacun étant conçu pour des applications spécifiques en fonction de la pression, de la température et d'autres caractéristiques de la vapeur.

**On peut classer les turbines à vapeur selon :**

- ▶ Selon l'utilisation
- ▶ Par le nombre d'étages de rotor
- ▶ Selon la forme de la veine de vapeur
- ▶ Selon le mode de construction

### 1.5.1 Selon l'utilisation

#### ▶ Turbine à condensation

La turbine à condensation est un type de turbine à vapeur conçue pour fonctionner avec une pression de vapeur à la sortie très proche du vide, généralement entre 0,03 et 0,055 bars. La pression de sortie correspond à la température de la vapeur saturée à la sortie de la turbine et dépend de la température de l'eau froide qui passe par le condenseur. Ces turbines sont principalement utilisées pour la production simultanée d'électricité et de chaleur dans des applications telles que le chauffage urbain la propulsion de bateaux, les turbocompresseurs et les turbosoufflantes.

#### ▶ Turbine à contre pression

La turbine à vapeur à contrepression est un type de turbine à vapeur conçue pour fonctionner avec une pression de vapeur à la sortie nettement supérieure à la pression atmosphérique. Contrairement aux turbines à condensation qui fonctionnent avec une pression de sortie proche du vide, les turbines à contrepression produisent de l'électricité, et la vapeur d'échappement à la sortie de la turbine est utilisée dans divers processus industriels, tels que la production de papier, l'industrie textile, etc.

Lorsque la vapeur est utilisée à des pressions supérieures à la pression atmosphérique, elle conserve une quantité d'énergie thermique qui peut être utilisée pour des applications industrielles en aval. Cela augmente l'efficacité globale de l'installation, car la chaleur résiduelle est réutilisée

### 1.5.2 Par le nombre d'étages de rotor

- ▶ Turbine élémentaire ou à une seule roue ou mono étagée.
- ▶ Turbines à éléments multiples ou à plusieurs roues' ou multi étagée.

### 1.5.3 Selon la forme de la veine de vapeur

#### ▶ Turbine axiale

L'écoulement de la vapeur se fait selon un cône ayant même axe que la turbine c'est les turbines les plus utilisées. [4]

#### ▶ Turbine radiale

L'écoulement de la vapeur se fait dans toutes les directions perpendiculaires à l'axe de la turbine [4]

### 1.5.4 Selon le mode de construction

#### ► Turbine à un corps

La turbine à un corps est un type de turbine à vapeur où toutes les étapes de la turbine sont regroupées dans un seul ensemble ou boîtier. Cela signifie que la vapeur circule à travers un seul rotor à haute vitesse pour convertir l'énergie thermique en énergie mécanique. Les turbines à un corps sont principalement utilisées dans des applications où la puissance requise est relativement faible, comme les petites centrales électriques ou des applications industrielles spécifiques

#### ► Turbine à plusieurs corps

Ou de grande puissance pour les centrales thermiques à puissance élevée elle comprend deux ou trois corps (haute pression (HP), moyenne pression (MP), basse pression (BP)). Les turbines à vapeur modernes sont toutes axiales, multi étagées (à l'exception de celles entraînant de petites machines auxiliaires). [4].

## 1.6 Les Éléments constitutifs d'une centrale thermique à vapeur

Généralement une centrale thermique à vapeur est généralement constituée de quatre éléments essentiels, à savoir la pompe, la turbine, le condenseur et la chaudière, comme illustré dans la Figure 1.1.

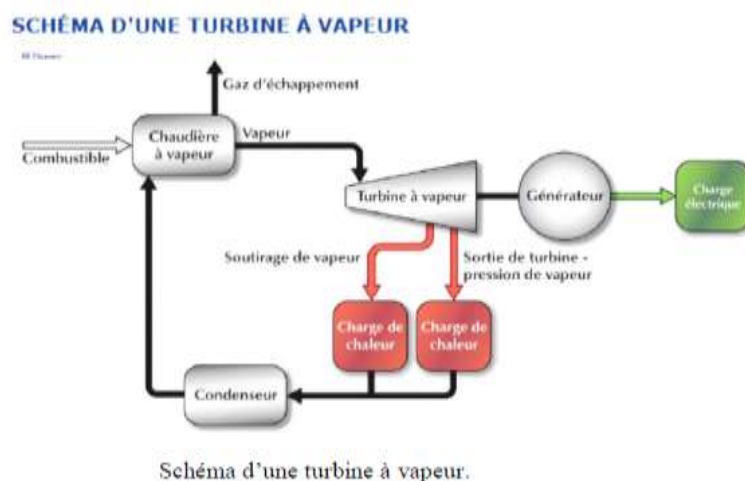


Figure 1.1: Schéma de la turbine à vapeur

### 1.6.1 La pompe

Les pompes sont des dispositifs qui créent une variation de pression entre le condenseur et la chaudière. D'un point de vue physique, une pompe convertit l'énergie mécanique fournie par son moteur d'entraînement en énergie hydraulique. Il existe différents types de pompes électriques :

- ▶ La pompe d'alimentation
- ▶ La pompe d'extraction
- ▶ La pompe à vide
- ▶ La pompe de refroidissement

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

### 1.6.2 La chaudière

La chaudière appelée aussi le générateur de vapeur, est un équipement qui génère la vapeur en chauffant de l'eau à haute température et haute pression. La vapeur produite est dirigée vers la turbine pour y être utilisée.

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

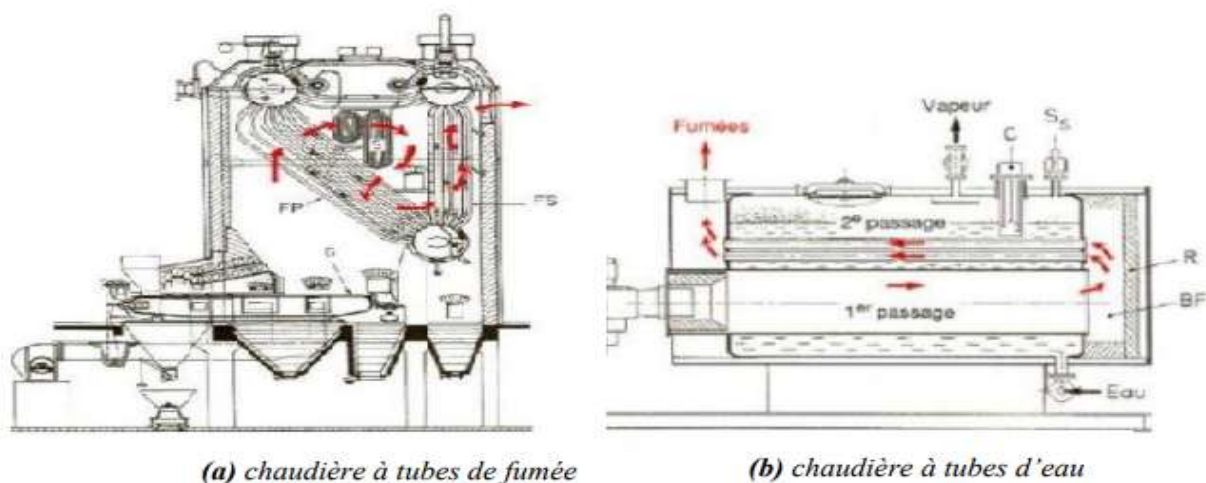


Figure 1.2 : schéma descriptif des deux chaudières [5]

### 1.6.3 La turbine

La turbine joue un rôle de moteur essentiel au sein d'une centrale thermique à vapeur. Cette turbine peut être de conception mono-étage ou multi-étage en fonction de la configuration adaptée à l'efficacité optimale de fonctionnement de la centrale.

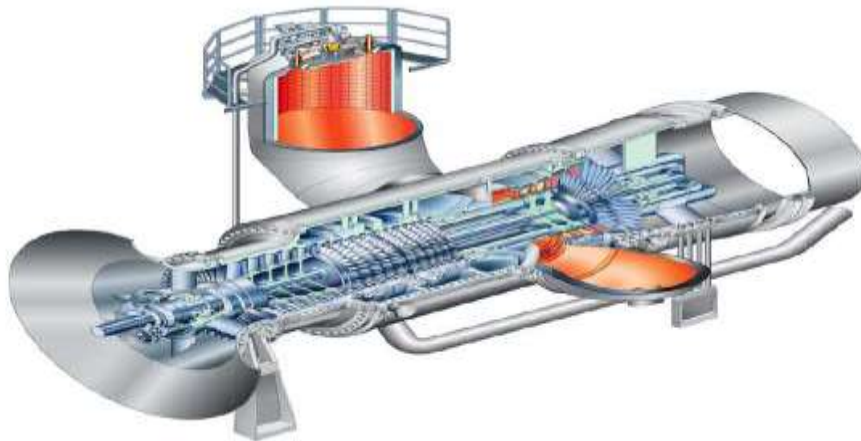


Figure 1.3 : schéma de turbine [5]

### 1.6.4 Le condenseur

Un condenseur de turbine à vapeur est un composant essentiel dans une centrale électrique fonctionnant avec une turbine à vapeur. Son rôle principal est de condenser la vapeur sortant de la turbine pour la transformer en eau liquide. La figure 1.5 montre le faisceau d'un condenseur.



Figure 1.4 : le condenseur

### 1.7 Avantages et les inconvénients de la turbine à vapeur

#### 1.7.1 Avantages de la turbine à vapeur

- ▶ Efficacité énergétique : Les turbines à vapeur sont très efficaces pour convertir la chaleur en énergie mécanique, ce qui les rend idéales pour les centrales électriques et les usines industrielles.
- ▶ Polyvalence : Les turbines à vapeur peuvent être utilisées pour une variété d'applications, notamment la production d'électricité, la propulsion de navires et la production de produits chimiques.
- ▶ Fiabilité : Les turbines à vapeur sont des machines robustes et fiables, qui peuvent fonctionner pendant des décennies avec un entretien minimal.
- ▶ Durée de vie : Les turbines à vapeur ont une durée de vie relativement longue, ce qui en fait un investissement rentable à long terme.
- ▶ Production d'énergie propre : Les turbines à vapeur peuvent être alimentées par des sources d'énergie propres, telles que l'énergie solaire ou l'énergie géothermique, ce qui en fait une option respectueuse de l'environnement.
- ▶ Faible coût de carburant : Les turbines à vapeur peuvent être alimentées par une variété de combustibles, notamment le charbon, le gaz naturel et les biocarburants, qui peuvent être relativement peu coûteux.
- ▶ Absence de matière grasse à l'intérieur de la turbine et par suite dans l'eau de condensation avantage très précieux pour les chaudières surtout pour les multitubulaires
- ▶ Écoulement régulier de la vapeur qui facilite la chauffe donne plus de régularité à la pression de régime et réduit dans une large mesure les chances d'entraînements d'eau
- ▶ Possibilité de l'emploi d'une surchauffe plus élevée qu'avec les machines alternatives par suite de l'absence de graissage à l'intérieur de la turbine et plus grande économie produite par l'emploi de cette surchauffe

#### 1.7.2 Les inconvénients

Bien que les turbines à vapeur aient de nombreux avantages, il y a également certains inconvénients à considérer :

- ▶ Coût élevé : Les turbines à vapeur sont des machines complexes qui peuvent être coûteuses à concevoir, construire et entretenir, ce qui peut les rendre moins accessibles pour les petites entreprises.

- ▶ Temps de démarrage : Les turbines à vapeur peuvent prendre du temps pour atteindre leur pleine capacité, ce qui peut être un inconvénient si une production rapide est nécessaire.
- ▶ Pollution : Les turbines à vapeur peuvent être alimentées par des combustibles fossiles tels que le charbon et le gaz naturel, qui produisent des émissions de gaz à effet de serre et contribuent au changement climatique.
- ▶ Consommation d'eau : Les turbines à vapeur nécessitent de grandes quantités d'eau pour fonctionner, ce qui peut être un inconvénient dans les régions où l'eau est rare ou coûteuse.
- ▶ Nécessite des compétences spécialisées : Les turbines à vapeur sont des machines complexes qui nécessitent des compétences spécialisées pour leur conception, leur construction et leur maintenance.

### 1.8 Conclusion

En conclusion, les turbines à vapeur jouent un rôle crucial dans la production d'énergie électrique, notamment dans les centrales thermiques. Leur fonctionnement repose sur la conversion de l'énergie thermique de la vapeur en énergie mécanique, un processus essentiel pour entraîner des générateurs électriques.

Ce premier chapitre nous a permis d'avoir un aperçu détaillé des turbines à vapeur, de leur fonctionnement et de leur importance dans la production d'énergie électrique. Nous avons abordé la définition des turbines à vapeur ainsi que leur rôle central dans les centrales thermiques à vapeur, où elles convertissent l'énergie thermique de la vapeur en énergie mécanique pour produire de l'électricité.

Nous avons également examiné en profondeur le principe de fonctionnement des turbines à vapeur, mettant en lumière la manière dont elles transforment l'énergie thermique de la vapeur en énergie mécanique de rotation, ainsi que les différents types de turbines à vapeur et leurs applications spécifiques.

En outre, nous avons exploré les éléments constitutifs d'une centrale thermique à vapeur, notamment la pompe, la chaudière, la turbine et le condenseur, soulignant le rôle crucial de chacun de ces composants dans le processus de production d'électricité. Enfin, nous avons examiné les avantages et les inconvénients des turbines à vapeur,



---

**Chapitre II**  
**Méthode d'optimisation.**

---



# CHAPITRE II

---

## Méthode D'optimisation.

---

### 2 Chapitre II : Méthode d'optimisation.

#### 2.1 Introduction

Les programmes d'optimisation inspirés des animaux sont une classe passionnante d'algorithmes qui tirent leur inspiration du comportement et des caractéristiques des animaux pour résoudre des problèmes complexes d'optimisation. Ces méthodes se sont révélées particulièrement efficaces pour résoudre des problèmes dans divers domaines, de l'ingénierie à la recherche opérationnelle en passant par l'intelligence artificielle.

L'un de ces algorithmes innovants est le "Grey Wolf Optimizer" (GWO), également connu sous le nom d'optimiseur du loup gris.

#### 2.2 Inspiration

Le loup gris (*Canis lupus*) appartient à la famille des Canidés. Les loups gris sont considérés comme des prédateurs au sommet, ce qui signifie qu'ils se situent au sommet de la chaîne alimentaire. Les loups gris préfèrent généralement vivre en meute. La taille du groupe est de 5 à 12 en moyenne. Il est particulièrement intéressant de noter qu'ils ont une hiérarchie sociale dominante très stricte. Figure 2.1

Les dirigeants sont un Mâle et une femelle, appelés alphas. L'alpha est principalement responsable de la prise de décisions concernant la chasse, le lieu de sommeil, l'heure de réveil, etc. Les décisions de l'alpha sont dictées à la meute. Cependant, une certaine forme de comportement démocratique a également été observé, dans lequel un alpha suit les autres loups de la meute. Lors des rassemblements, la meute entière reconnaît l'alpha en gardant la queue baissée. Le loup alpha est aussi appelé loup dominant puisque ses ordres doivent être suivis par la meute. Les loups alpha ne sont autorisés à s'accoupler qu'en meute. Fait intéressant, l'alpha n'est pas nécessairement le membre le plus fort de la meute mais le meilleur en termes de gestion de la meute. Cela montre que l'organisation et la discipline d'une meute sont bien plus importantes que sa force.

## Chapitre II : Méthode d'optimisation

---

Le deuxième niveau de la hiérarchie des loups gris est bêta. Les betas sont des loups subordonnés qui aident l'alpha dans la prise de décision ou dans d'autres activités de la meute. Le loup bêta peut être un mâle ou une femelle, et il est probablement le meilleur candidat pour devenir l'alpha au cas où l'un des loups alpha décèderait ou deviendrait très vieux. Le loup bêta doit respecter l'alpha, mais commande également les autres loups de niveau inférieur.

Conseiller de l'alpha et de discipline de la meute. La version bêta renforce les commandes de l'alpha tout au long du pack et donne un feedback à

Le loup gris le moins bien classé est oméga. L'oméga joue le rôle de bouc émissaire. Les loups Omega doivent toujours se soumettre à tous les autres loups dominants. Ce sont les derniers loups autorisés à manger. Il peut sembler que l'oméga n'est pas un individu important dans la meute, mais il a été observé que l'ensemble de la meute est confronté à des combats internes et à des problèmes en cas de perte de l'oméga. Cela est dû à l'expression de la violence et de la frustration de tous les loups par le(s) oméga(s). Cela aide à satisfaire l'ensemble de la meute et à maintenir la structure de domination. Dans certains cas, les omégas sont aussi les du groupe.

Si un loup n'est pas un alpha, un bêta ou un oméga, il est appelé subordonné (ou delta dans certaines références). Les loups Delta doivent se soumettre aux alphas et aux bêtas, mais ils dominent l'oméga. Les éclaireurs, les sentinelles, les anciens, les chasseurs et les gardiens appartiennent à cette catégorie. Les scouts sont chargés de surveiller les limites du territoire et d'avertir la meute en cas de danger. Les sentinelles protègent et garantissent la sécurité de la meute. Les aînés sont des loups expérimentés qui étaient autrefois alpha ou bêta. Les chasseurs aident les alphas et les bêtas lorsqu'ils chassent des proies et fournissent de la nourriture à la meute. Enfin, les soigneurs sont chargés de soigner les loups faibles, malades et blessés de la meute.

Outre la hiérarchie sociale des loups, la chasse en groupe est un autre comportement social intéressant des loups gris. Selon Muro et al. [7]

les principales phases de la chasse au loup gris sont les suivantes :

- ▶ Traquer
- ▶ poursuivre et approcher la proie.
- ▶ Poursuivre
- ▶ encercler et harceler la proie jusqu'à ce qu'elle s'arrête de bouger.
- ▶ Attaque vers la proie.

## Chapitre II : Méthode d'optimisation

Ces étapes sont présentées dans Figure 2.1 Dans ce travail, cette technique de chasse et la hiérarchie sociale des loups gris sont modélisées mathématiquement afin de concevoir GWO et d'effectuer une optimisation.



Figure 2.1 : Comportement de chasse des loups gris : (A) chasser, approcher et suivre des proies (B–D) poursuivre, harceler et encercler (E) situation stationnaire et attaque [7]

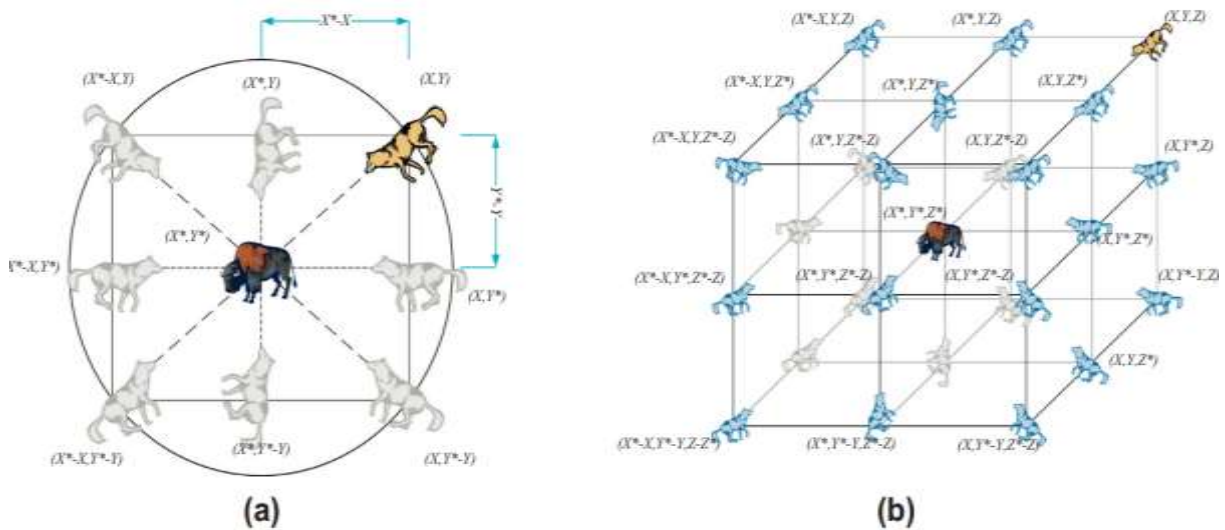
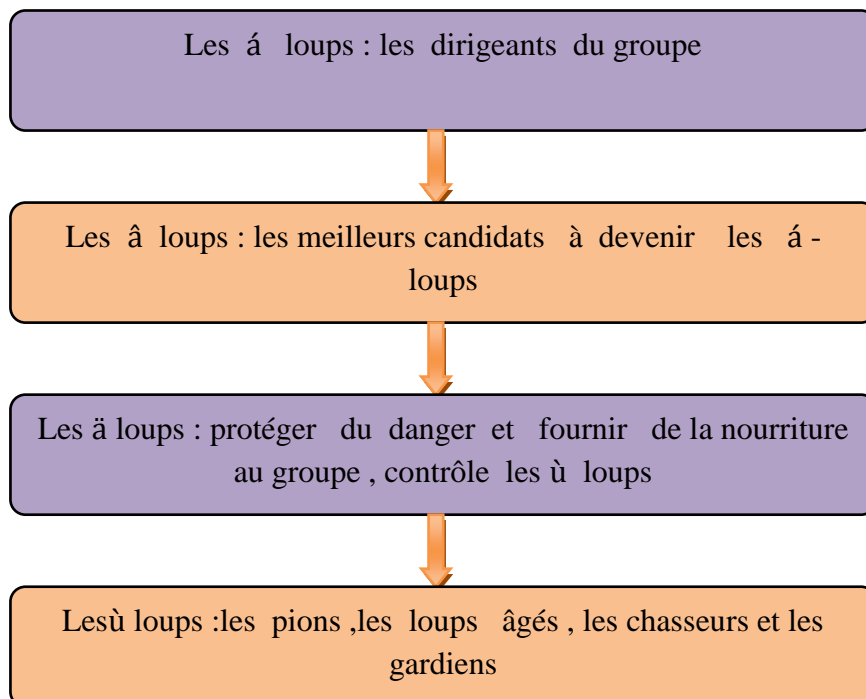


Figure 2.2: Vecteurs de position 2D et 3D et leurs prochains emplacements possibles [7]

### 2.3 L'algorithme GWO

GWO (Grey Wolf optimisation algorithm) est une méthode d'optimisation métaheuristique, proposée par Mirjalili et al en 2014 c'est une méthode d'optimisation inspirée de la hiérarchie sociale et des techniques de chasse des loups gris dans la nature.[7]

Les loups gris vivent en groupe ; chaque groupe est organisé par un ordre hiérarchique. La hiérarchie sociale des loups gris est subdivisée en quatre catégories, qui contiennent les loups alpha, les loups bêta, les loups delta et les loups oméga.



### 2.4 Le modèle mathématique

L'algorithme GWO est le modèle mathématique du comportement social des loups gris, les nouvelles solutions générées par l'algorithme dans chaque itération sont générées en voisinage des positions du loup alpha  $X_1$  (meilleure solution générée à l'itération précédente), du loup bêta  $X_2$  (Deuxième meilleure solution générée à l'itération précédente) et le loup delta  $X_3$  (troisième),

Meilleure solution générée à l'itération précédente) en utilisant l'équation suivante :

$$X(t + 1) = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3}$$

$X_1, X_2, X_3$  : sont calculés à l'aide des équations suivantes

$$X_1 = |X_\alpha - A_1 D_\alpha| \quad ; \quad D_\alpha = |C_1 X_\alpha - X(t)|$$

$$X_2 = |X_\beta - A_2 D_\beta| \quad ; \quad D_\beta = |C_2 X_\beta - X(t)|$$

$$X_3 = |X_\delta - A_3 D_\delta| \quad ; \quad D_\delta = |C_3 X_\delta - X(t)|$$

✚  $X(t)$  : est la position actuelle du loup oméga

✚  $X(t + 1)$  : est la nouvelle position du loup oméga

✚  $D_\alpha, D_\beta, D_\delta$  sont les voisinages de la position du loup alpha, du loup bêta et du loup delta respectivement.

$A_i, C_i$  avec  $(i=1, 2, 3)$  sont des vecteurs de coefficients calculés comme suit:

$$A_i = 2 a r_1 - a$$

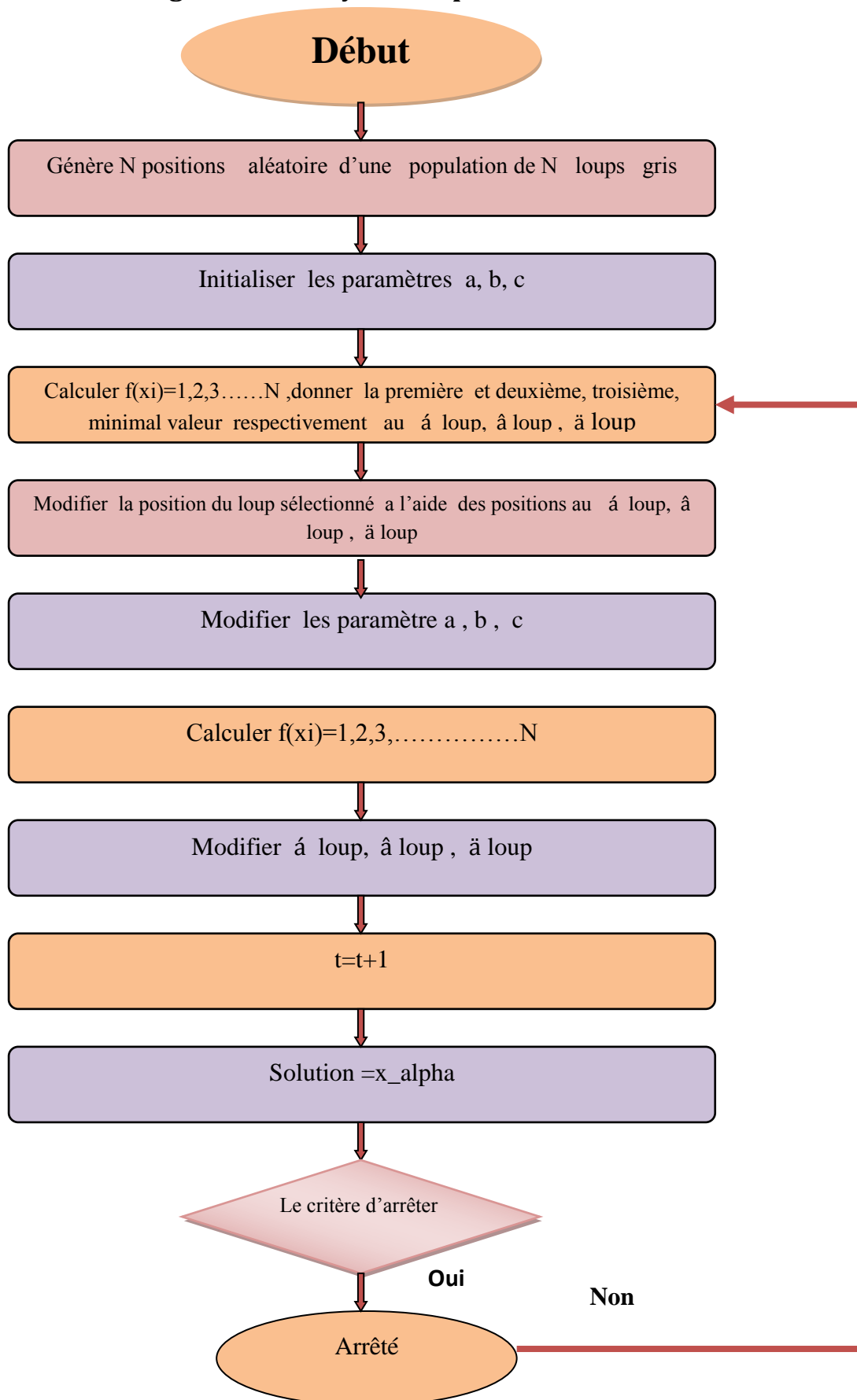
$$C_i = 2 a \quad \text{avec } (i=1, 2, 3)$$

$$a = \frac{2 - t}{\text{Max}(t)}$$

✚  $(t)$  est le numéro de l'itération actuelle.

✚  $\text{Max}(t)$  est le nombre maximal d'itérations

2.5 L'organigramme de l'algorithme Grey Wolf Optimiser



### 2.6 Conclusion

Le Grey Wolf Optimizer (GWO) se distingue comme une méthode d'optimisation puissante et efficace, inspirée par le comportement social et les techniques de chasse des loups gris. En modélisant la hiérarchie sociale des loups gris, le GWO parvient à explorer efficacement l'espace de recherche et à trouver des solutions optimales pour divers problèmes complexes. Les performances de l'algorithme GWO ont été confirmées par des comparaisons avec d'autres algorithmes bien connus, montrant sa compétitivité et sa robustesse. De plus, l'application du GWO à des problèmes d'ingénierie classiques et à des scénarios réels illustre sa polyvalence et son potentiel à résoudre des problèmes d'optimisation avec des espaces de recherche inconnus.



---

## **Chapitre III**

**Installation avec un seul Soutirage et un seul  
Mélangeur**

---



# Chapitre III

## Installation avec un seul Soutirage et un seul Mélangeur

### 3 Chapitre III : Installation avec un seul Soutirage et un seul Mélangeur

#### 3.1 Cycle de Rankine de base

Le cycle de Rankine peut être considéré comme le cycle de base des turbines à vapeur. Il est constitué deux transformations isobares et deux transformations adiabatiques.

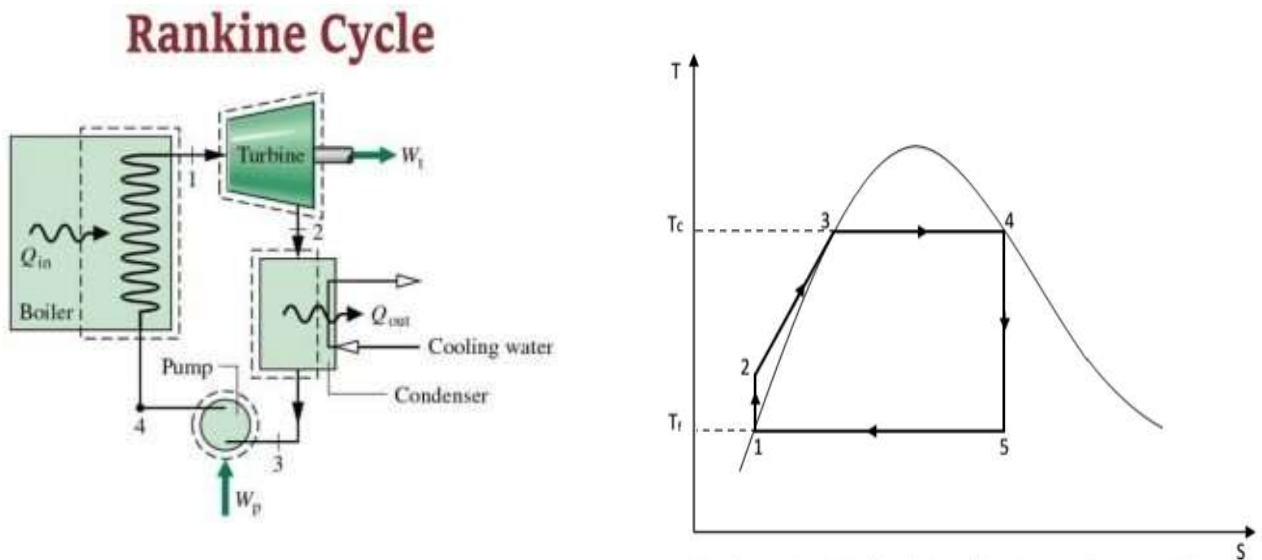


Figure 3.1 : Schéma d'un cycle de Rankine

❖ le fluide de travail y subit quatre transformations :

- ▶ 1→2 Compression adiabatique (Evolution adiabatique réversible dans la pompe augmentation de pression BP----->HP)
- ▶ 2→3 échauffement isobare.
- ▶ 3→4 évaporation isobare (Apport de chaleur à pression constante dans la chaudière)
- ▶ 4→5 Détente adiabatique réversible dans la turbine.
- ▶ 4→1 condensation isobare.

### 3.2 Installation avec un seul Soutirage et un seul Mélangeur (cycle I)

Le schéma ci-dessous illustre la configuration d'une installation de turbine à vapeur, avec un seul soutirage et un seul mélangeur

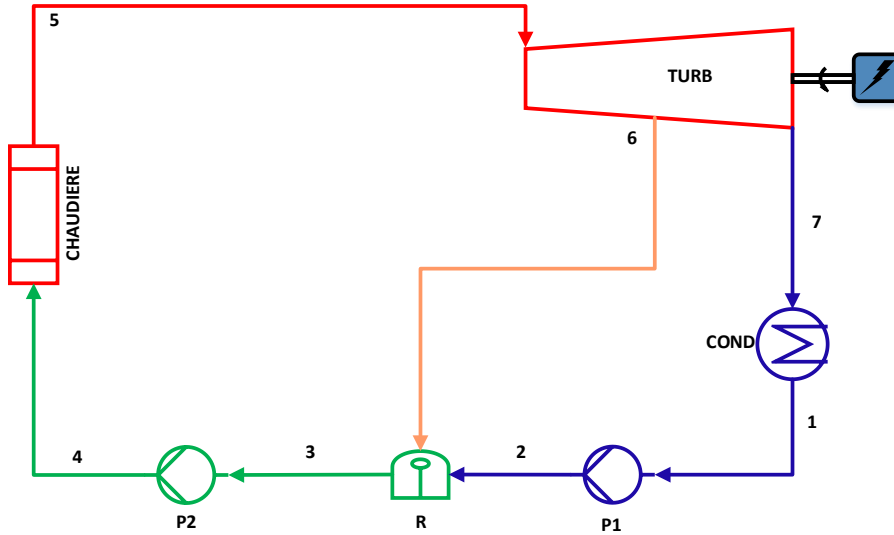


Figure 3.2 : installation avec un seul soutirage et un seul mélangeur.

Le fluide de travail au sein de ce système subit cinq transformations majeures, chacune ayant son propre ensemble de caractéristiques, La figure3.3 représente Cycle avec réchauffeur par mélange dans un diagramme T-s

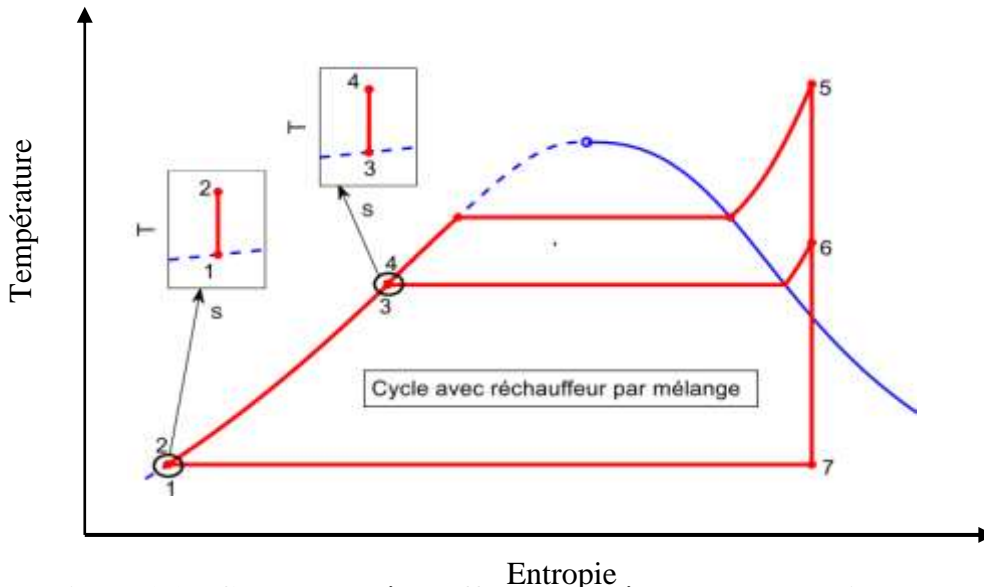


Figure 3.3 : Cycle avec réchauffeur par mélange dans un diagramme T-s.

**Le fluide de travail y subit cinq transformations, qui sont les suivantes :**

- ➡ **Pompe (1-2) :** La première transformation se produit dans la pompe, où la masse du fluide est augmentée en utilisant une énergie mécanique fournie. Cette augmentation de masse entraîne une élévation de la pression du fluide ( $p$ ), et l'enthalpie ( $h_2 - h_1$ ) augmente également. Cela se traduit par une augmentation de la pression de la basse pression (BP) à la pression de soutirage (pression de point 6).
- ➡ **Réchauffeur (2-3) :** La deuxième transformation intervient dans le réchauffeur. Là, le fluide principal est chauffé en entrant en contact avec le fluide soutiré à la pression de soutirage, augmentant sa température. Généralement, l'eau est chauffée jusqu'à atteindre la température de saturation. De plus, le mélangeur a également un rôle essentiel dans l'élimination des gaz incondensables.
- ➡ **Pompe (3-4) :** La troisième transformation se produit à nouveau dans une pompe, où la pression du fluide est à nouveau élevée, passant de la basse pression de soutirage à la pression du générateur de vapeur.
- ➡ **Chaudière (4-5) :** La quatrième transformation a lieu dans la chaudière. Ici, la masse du fluide est maintenue constante, mais l'enthalpie augmente en raison de l'apport d'une chaleur externe. Cette augmentation de l'enthalpie se traduit par une élévation de la température de l'eau d'alimentation.
- ➡ **Turbine (5-7) :** En cinquième lieu, la détente adiabatique réversible se produit dans la turbine. La vapeur d'eau détendue dans la turbine perd de l'enthalpie, ce qui génère une puissance mécanique. En conséquence, la vapeur passe de la pression du générateur de vapeur à la pression de basse pression.
- ➡ **Condenseur (7-1) :** Enfin, la dernière transformation se produit dans le condenseur, où la vapeur détendue est refroidie à pression constante. La vapeur se condense en eau liquide, libérant la chaleur vers une source froide.

Chacune de ces transformations joue un rôle crucial dans le cycle de la turbine à vapeur, contribuant à sa performance globale et à la conversion d'énergie thermique en énergie mécanique.

### 3.3 Analyse thermodynamique

Nous appliquons les principes fondamentaux de la thermodynamique à chaque élément de l'installation illustrée dans la figure 3.4, Ceci nous permet d'établir les bilans énergétiques et massiques propres à chaque élément de cette configuration.

3.3.1 Pompe

➡ Pour 1<sup>er</sup> pompe (1-2)

La pompe a pour but d'augmenter la pression de fluide de base de pression (la pression de condensation) à la pression de soutirage. La figure 3.4 montré le schéma de 1 er pompe.

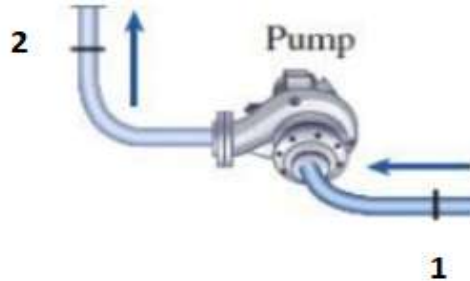


Figure3.4 : schéma de première pompe.

- ▶ Le bilan de masse de la pompe s'écrit :

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_p \tag{3.1}$$

- ▶ Le bilan énergétique :

$$\dot{m}_p h_1 + \dot{W}_p = \dot{m}_p h_2 \tag{3.2}$$

- ▶ D'où la puissance consommée par la pompe est calculée par :

$$\dot{W}_p = \dot{m}_p (h_2 - h_1) = \dot{m}_p \int_{P_1}^{P_2} v dp \tag{3.3}$$

➡ Pour 2<sup>ème</sup> pompe (3-4)

La fonction principale de la pompe est d'élever la pression du fluide à la sortie du réchauffeur par mélangeur jusqu'à atteindre la pression nécessaire pour alimenter le générateur de vapeur.

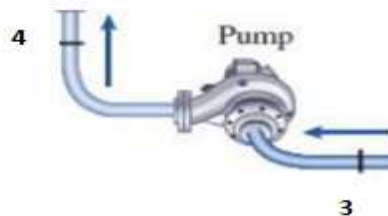


Figure3.5 : schéma de deuxième pompe.

- ▶ Le bilan de masse de la pompe s'écrit :

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m} \quad (3.4)$$

- ▶ Le bilan énergétique :

$$\dot{m}h_3 + \dot{W}_{p2} = \dot{m} h_4 \quad (3.5)$$

- ▶ D'où la puissance consommée par la pompe est calculée par :

$$\dot{W}_{p2} = \dot{m} (h_4 - h_3) \quad (3.6)$$

- ▶ L'équation de rendement :

$$W_{is} = \dot{m} \int v dp \quad (3.7)$$

$$\eta = \frac{W_{is}}{W_r} \quad (3.8)$$

$$W_r = \frac{W_{is}}{\eta} = \dot{m} \frac{\int v dp}{\eta} \quad (3.9)$$

- ▶ Le rendement de la première pompe est de 65%, de même que celui de la deuxième pompe.

### 3.3.2 Réchauffeur par mélangeur

Le réchauffeur par mélangeur intervient après la sortie de la turbine à basse pression, où il chauffe la vapeur d'échappement en la mélangeant avec de la vapeur haute pression avant de l'introduire à nouveau dans la turbine à haute pression, améliorant ainsi l'efficacité globale du cycle thermique

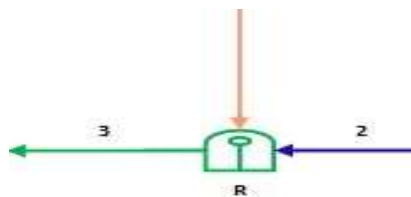


Figure 3.6 : Réchauffeur par mélangeur

- ▶ Le bilan de masse de la Réchauffeur s'écrit :

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_p \quad \dot{m}_6 = \dot{m}_s \quad \dot{m}_3 = \dot{m} \quad (3.10)$$

- ▶ le bilan d'énergie :

$$\dot{m}_p h_2 + \dot{m}_s h_6 = \dot{m} h_3 \quad (3.11)$$

$$\dot{m}_p h_2 + \dot{m}_s h_6 - \dot{m} h_3 = 0 \quad (3.12)$$

$$(1 - y)h_2 + yh_6 - h_3 = 0 \quad (3.13)$$

### 3.3.3 La chaudière

La fonction principale de la chaudière est de chauffer le fluide moteur jusqu'à ce qu'il se transforme en vapeur, d'où son appellation de générateur de vapeur. En conséquence, elle représente la source d'énergie thermique de l'ensemble du système.

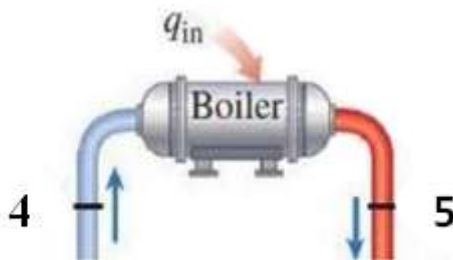


Figure.3.7 : schéma descriptive de la chaudière.

- Le bilan de masse de la chaudière : s'écrit :

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 = \dot{m} \quad (3.14)$$

- Le bilan d'énergie :

$$\dot{m} h_4 + \dot{Q}_C = \dot{m} h_5 \quad (3.15)$$

- D'où la chaleur consommée par la chaudière est calculée par :

$$\dot{Q}_C = \dot{m} (h_5 - h_4) \quad (3.16)$$

- Le rendement de chambre de combustion s'écrit :

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{cc}}{\dot{m} \text{ PCI}} \quad (3.17)$$

Avec le rendement de chambre de combustion  $\eta_{cc} = 95 \%$

### 3.3.4 Turbine

La turbine est l'appareil qui transforme l'énergie thermique contenue dans la vapeur en énergie mécanique, Figure 3.8 représente le schéma de la turbine à vapeur avec un seul soutirage

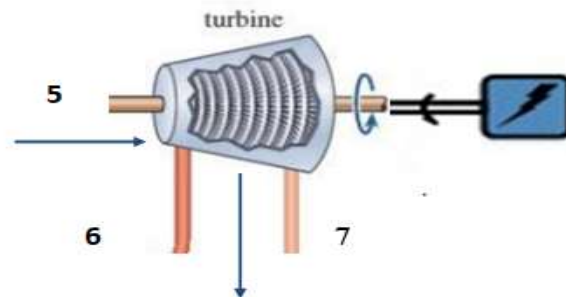


Figure 3.8 : schéma descriptif d'une turbine à vapeur avec un seul soutirage.

- Le bilan de massique :

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_p \quad , \dot{m}_5 = \dot{m} \quad , \dot{m}_6 = \dot{m}_s \quad (3.18)$$

- Le bilan d'énergie :

$$\dot{W}_T = \dot{W}_{t1} + \dot{W}_{t2} \quad (3.19)$$

$$\dot{W}_{t1} = \dot{m} (h_4 - h_5) \quad (3.20)$$

$$\dot{W}_{t2} = \dot{m}_p (h_5 - h_6) \quad (3.21)$$

$$\dot{W}_T = \dot{m} (h_5 - h_6) + \dot{m}_p (h_5 - h_6) \quad (3.22)$$

- Le rendement de la turbine à vapeur

$$\eta = \frac{W_r}{W_{is}} \quad (3.23)$$

$$W_r = W_{is} \eta \quad (3.24)$$

Avec le rendement de la turbine à vapeur  $\eta_t = 90 \%$

3.3.5 Condenseur :

Le rôle du condenseur est de liquéfier complètement la vapeur humide issue de la turbine.

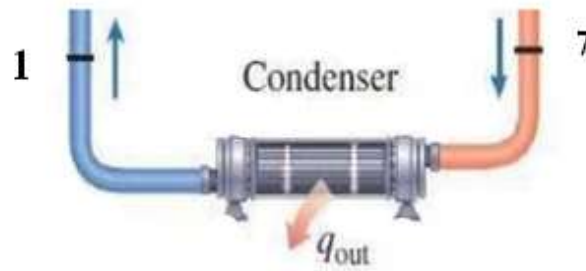


Figure3.09 : schéma descriptive de condenseur.

► Le bilan massique

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_p = \dot{m}_1 \tag{3.25}$$

► Le bilan énergétique :

$$\dot{m}_p h_7 = \dot{Q}_{cd} + \dot{m}_p h_1 \tag{3.26}$$

$$\dot{Q}_{cd} = \dot{m}_p (h_7 - h_1) \tag{3.27}$$

3.4 Performance de cycle avec réchauffeur par mélange

► Le rendement de cycle avec un seul soutirage et un seul mélangeur :

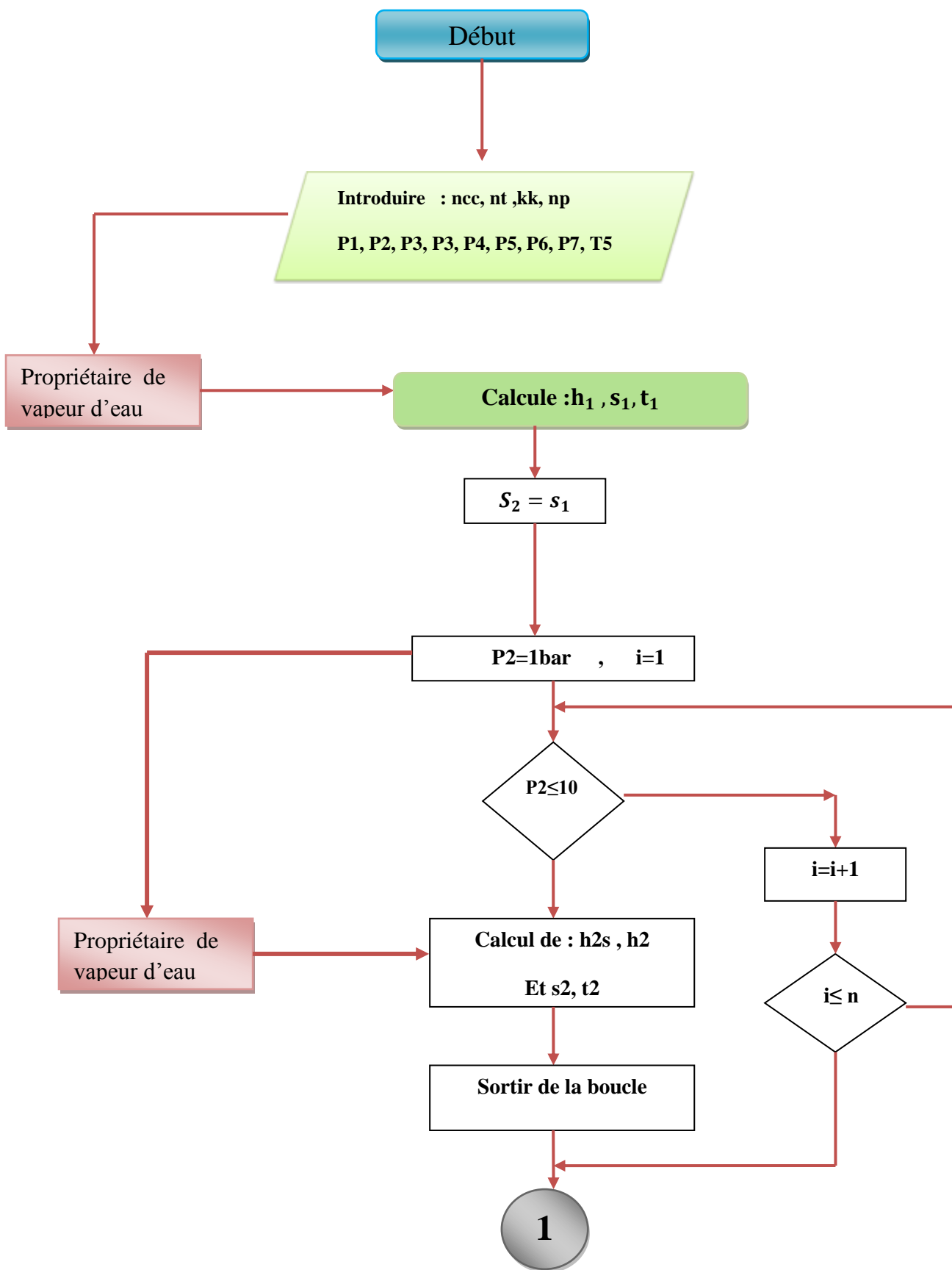
$$\begin{cases} \dot{W}_{p1} = \dot{m}_p (h_2 - h_1) = \dot{m}_p \int_{p_1}^{p_2} v dp \\ \dot{W}_{p2} = \dot{m} (h_4 - h_3) \\ \dot{W}_T = \dot{m} (h_5 - h_6) + \dot{m}_p (h_5 - h_6) \end{cases}$$

$$\eta = \frac{w_{net}}{Q_{cd}} \tag{3.28}$$

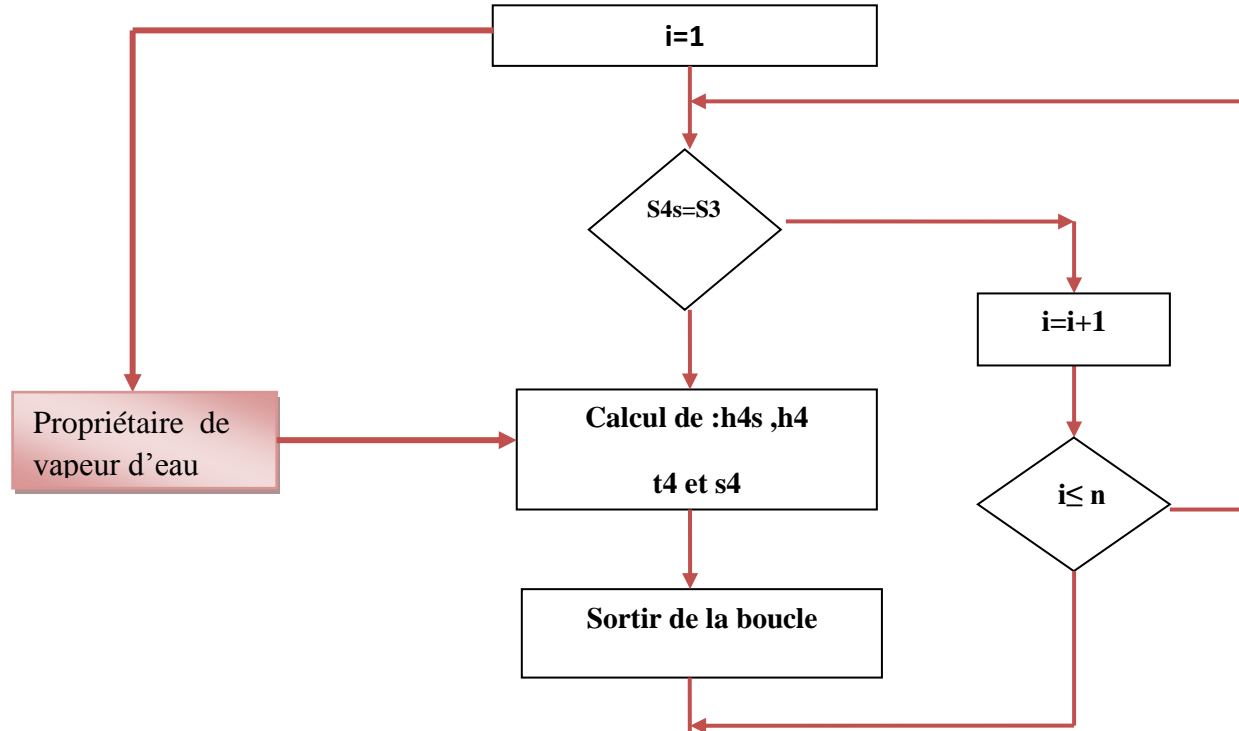
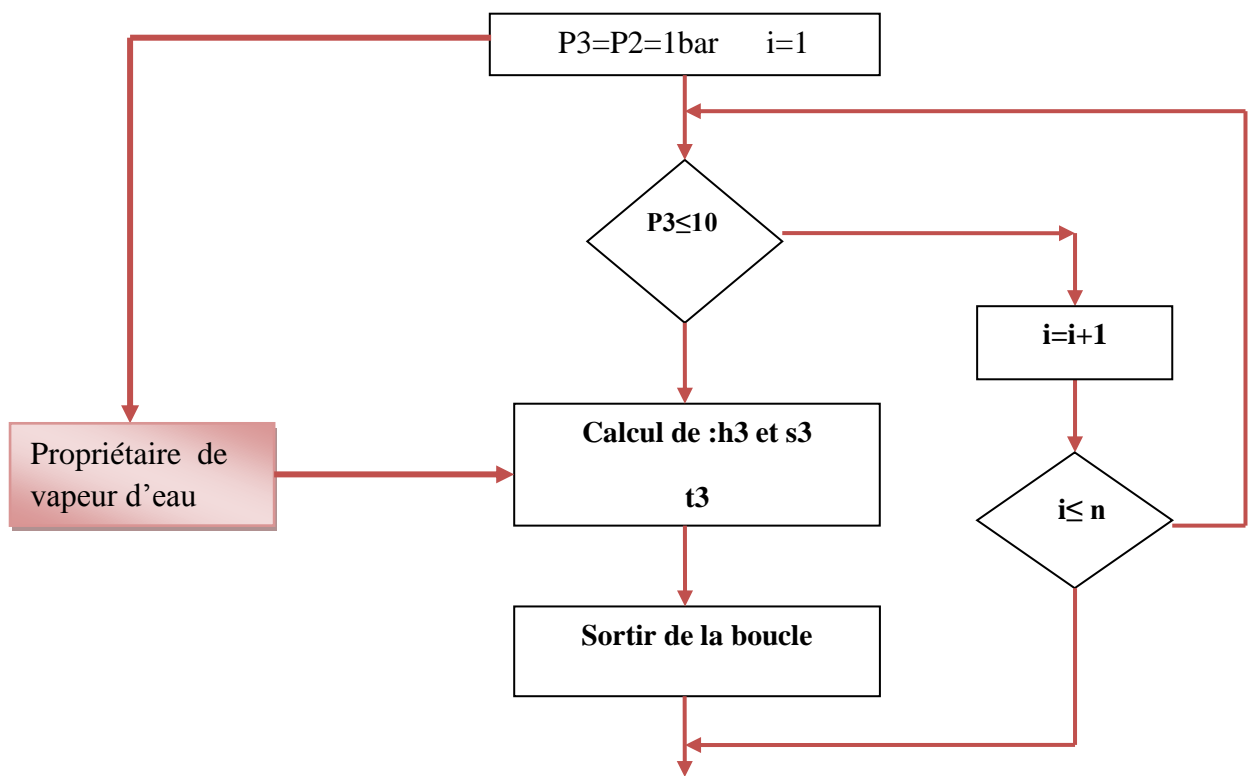
$$\eta = \frac{\dot{W}_T - \dot{W}_{p1} - \dot{W}_{p2}}{Q_{cd}} \tag{3.29}$$

$$\eta = \frac{\dot{m} (h_5 - h_6) + \dot{m}_p (h_5 - h_6) - \dot{m}_p (h_2 - h_1) - \dot{m} (h_4 - h_3)}{\dot{m} (h_5 - h_4)} \tag{3.30}$$

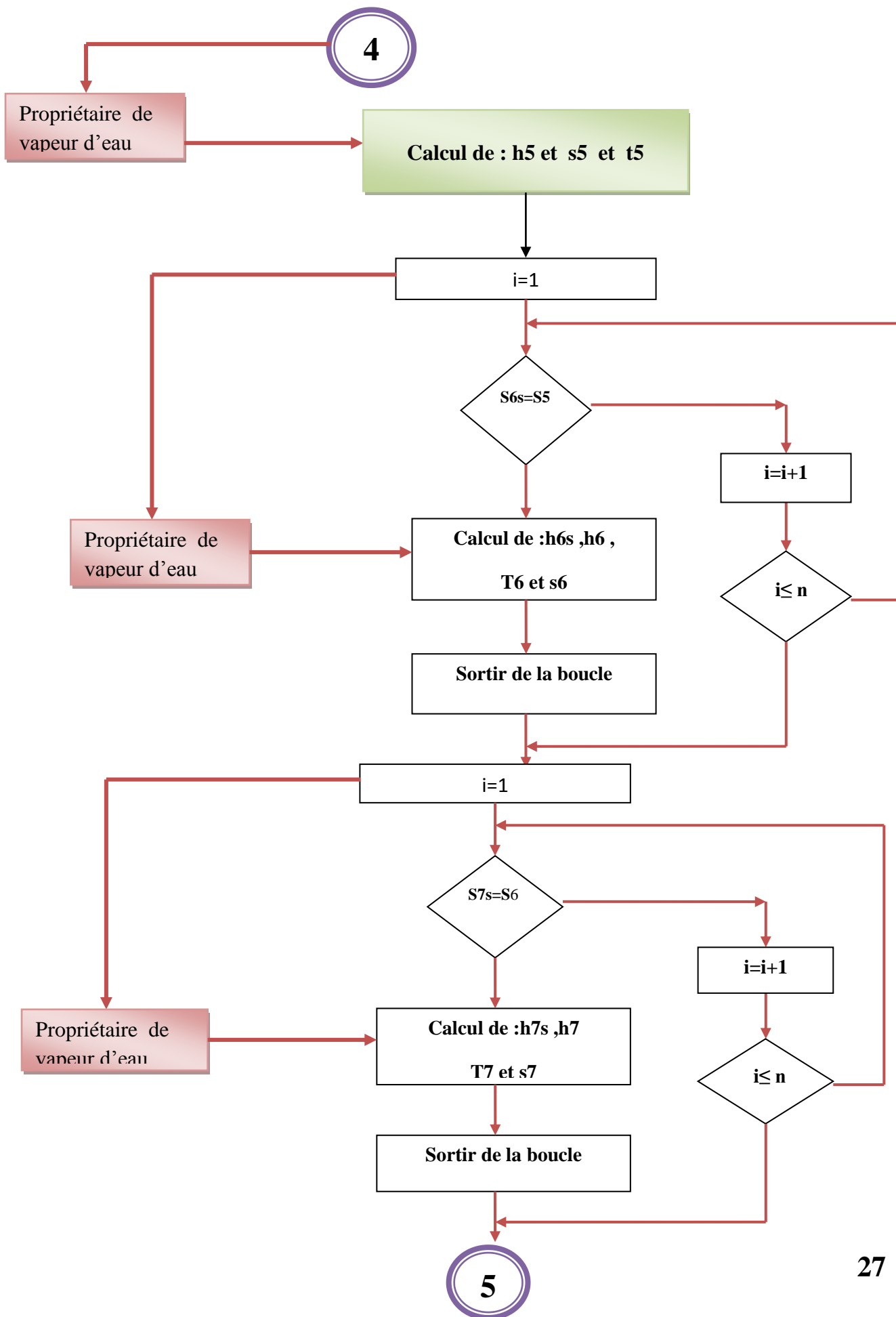
3.5 L'organigramme de calcul

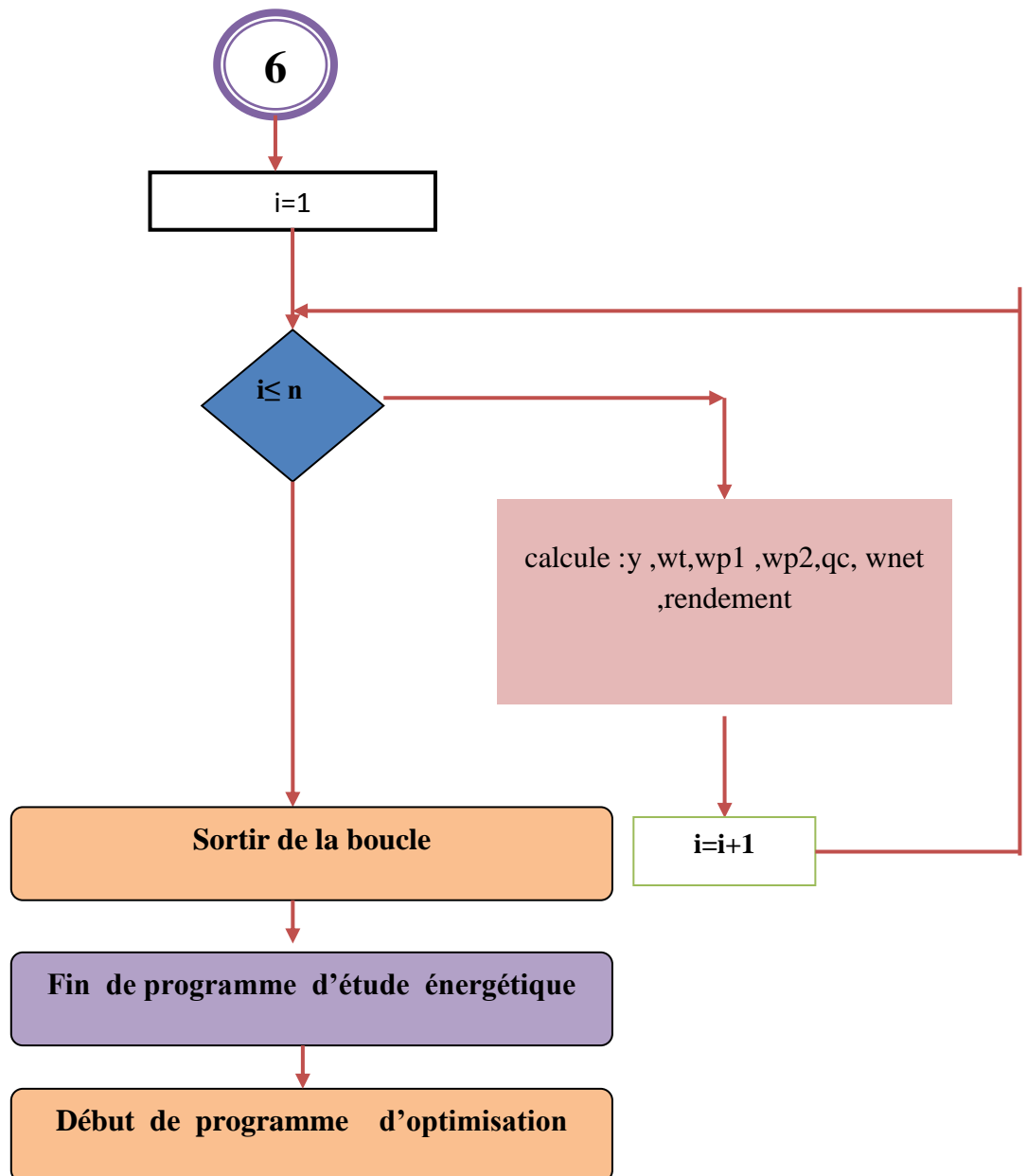


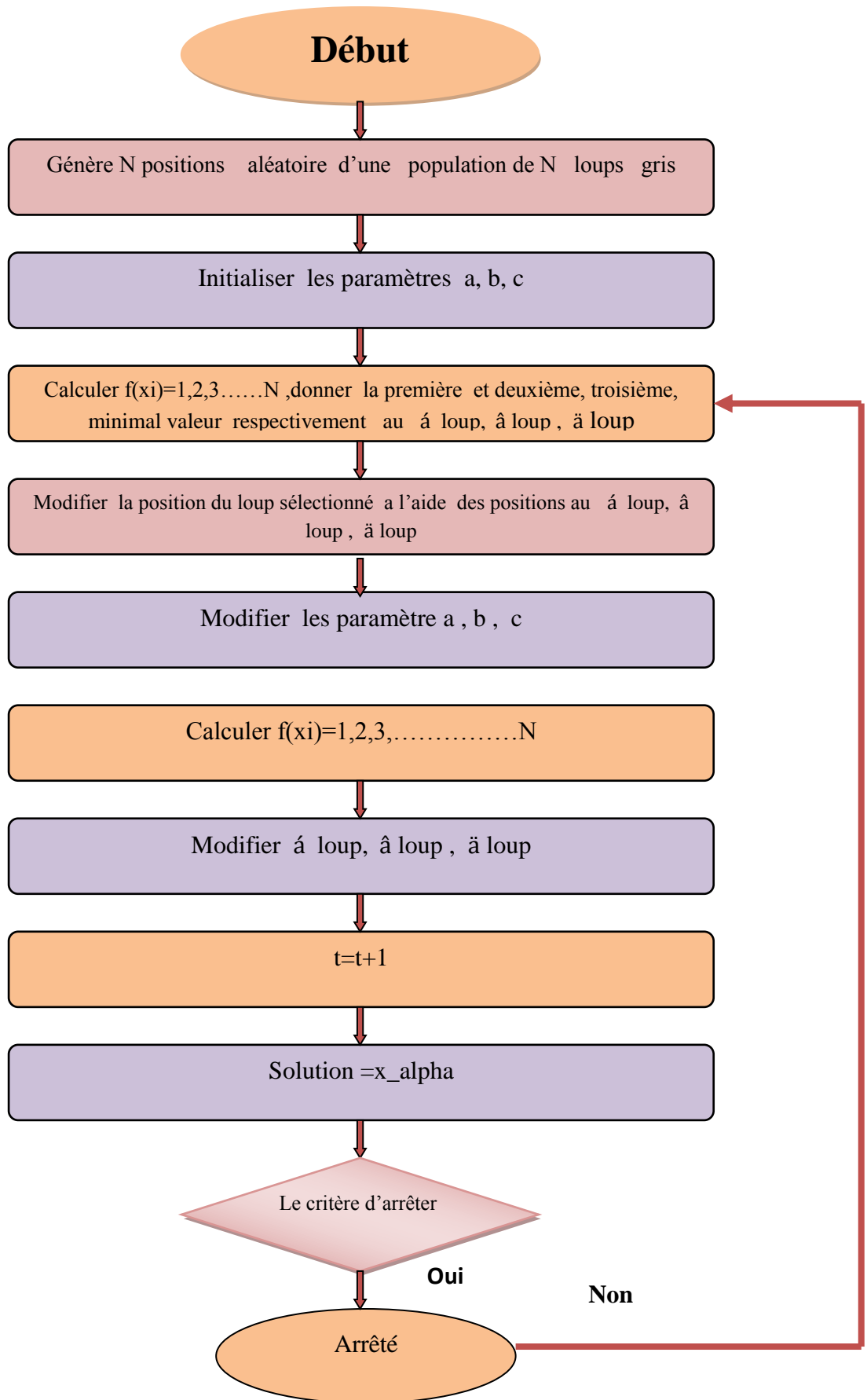
2



3



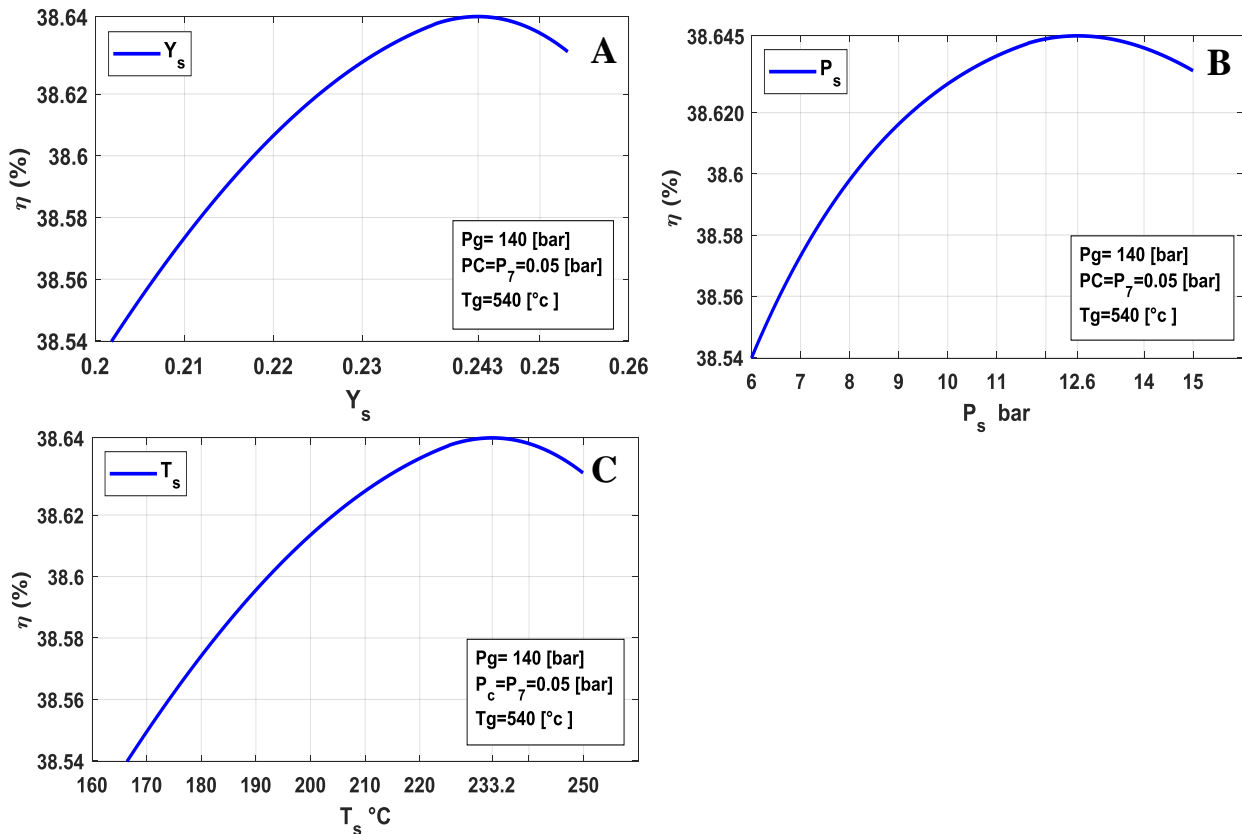




### 3.6 Les résultats du premier programme

#### 3.6.1. La variation de rendement en fonction de température et pression et fraction massique

La figure 3.10 illustre comment le rendement varie en fonction de pression et température de soutirage, ainsi que de la fraction massique soutirée, tout en maintenant la température et la pression du générateur de vapeur constant à 540 °C et 140 bar. De plus, la pression de condenseur est maintenue à 0.05 bar.



**Figure 3.10 : la variation de rendement en fonction de pression et température de soutirage et fraction massique soutirée, avec  $T_g = 540$  [°C],  $P_g = 140$  [Bar],  $P_c = 0.05$  [Bar]**

La figure 3.10a représente la variation de rendement en fonction de Fraction massique soutirée, Le rendement de la turbine augmente progressivement avec l'augmentation de la Fraction massique soutirée, atteignant son maximum à 0.243 avec une valeur de 38.645. Au-delà de cette valeur, le rendement commence à décroître.

Le rendement augmente initialement avec la fraction massique soutirée, car cela permet une meilleure utilisation de l'énergie de la vapeur. Cependant, au-delà d'un certain point, la qualité de la vapeur se détériore, ce qui peut endommager la turbine et réduire son rendement. De plus, cela réduit l'énergie disponible pour produire du travail. En soutirant une partie du fluide (et donc de l'énergie)

avant qu'il ne passe complètement à travers la turbine, la quantité d'énergie qui peut être convertie en travail mécanique est réduite. Cela entraîne une baisse du rendement du turbin

Pour La figure 3.10b montre la variation de rendement En fonction de pression de soutirage Lorsque la pression de soutirage augmente, on observe une augmentation du rendement de la turbine jusqu'à ce qu'il atteigne son maximum à (12.6, 38.645), après commence à diminuer.

Les résultats obtenus peuvent être expliqués en se référant à l'enthalpie  $h_7$  qui représente l'énergie à la sortie de la turbine à vapeur, On constate que cette valeur d'enthalpie  $h_7$  diminue, ce qui explique initialement l'augmentation du rendement de la turbine, Cependant, lorsque l'enthalpie  $h_7$  augmente, le rendement diminue par la suite. Cela indique que l'énergie disponible à la sortie de la turbine influe sur le rendement de manière significative, la diminution initiale favorise le rendement, mais l'augmentation ultérieure entraîne une diminution des performances de la turbine.

Le graphique numéro trois (C) illustre comment le rendement varie en fonction de la température de soutirage. On constate une augmentation du rendement lorsque la température de soutirage augmente atteignant son pic à (233.2, 38.645), puis amorçant une diminution.

Cela s'explique par le fait que la température de soutirage influence à la fois la puissance mécanique produite par la turbine et l'énergie thermique utilisée pour un autre processus, comme le chauffage ou la désalinisation. Plus la température de soutirage est élevée, plus la vapeur soutirée contient d'énergie thermique, ce qui augmente l'efficacité globale du système. Mais si la température de soutirage devient trop élevée, elle réduit la différence d'enthalpie entre l'entrée et la sortie de la turbine, ce qui diminue la puissance mécanique et le rendement de la turbine.

#### **3.6.2. Variation de fraction massique et température de soutirage en fonction de $P_s$ .**

La Figure 3.11 illustre la variation de fraction massique et la température de soutirage en fonction de la Pression de soutirage, Les conditions du générateur de vapeur sont définies par une température de 540 °C et une pression de 140 bar, tandis que la pression de condenseur est de 0.05 bar.

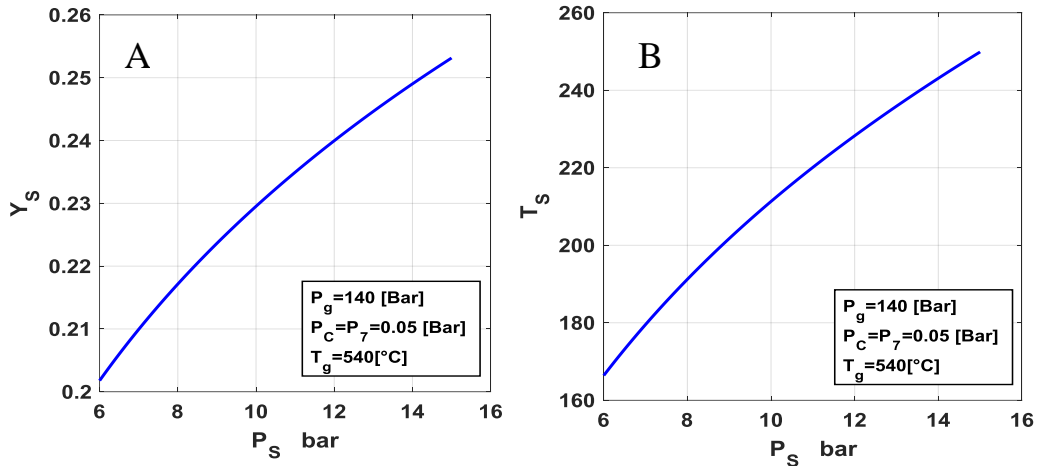


Figure 3.11 : la variation de fraction massique soutirée, température de soutirage en fonction de pression de soutirage avec  $T_g = 540 [^{\circ}C]$ ,  $P_c = 0.05 [Bar]$ ,  $P_g = 140 [Bar]$ .

Figure 3.11a courbe met en lumière une corrélation linéaire entre la pression de soutirage et la fraction massique soutirée. On observe une augmentation linéaire de fraction massique soutirée avec l'augmentation de la pression de soutirage, Cela indique que des pressions de soutirage plus élevées entraînent une augmentation de la fraction massique

Figure 3.11b courbe, elle montre la variation de température de soutirage une fonction de pression de soutirage, On observe que la température augment de manière linéaire de 160 °C à 260 °C lorsque la pression de soutirage augmente de 6 à 16 bar. Cela suggère que des pressions plus élevées entraînent une augmentation des températures

### 3.6.3. Les effets de fraction massique sur le rendement

La figure 3.12 illustre deux figures, A et B, qui examinent les effets de la fraction massique sur le rendement.

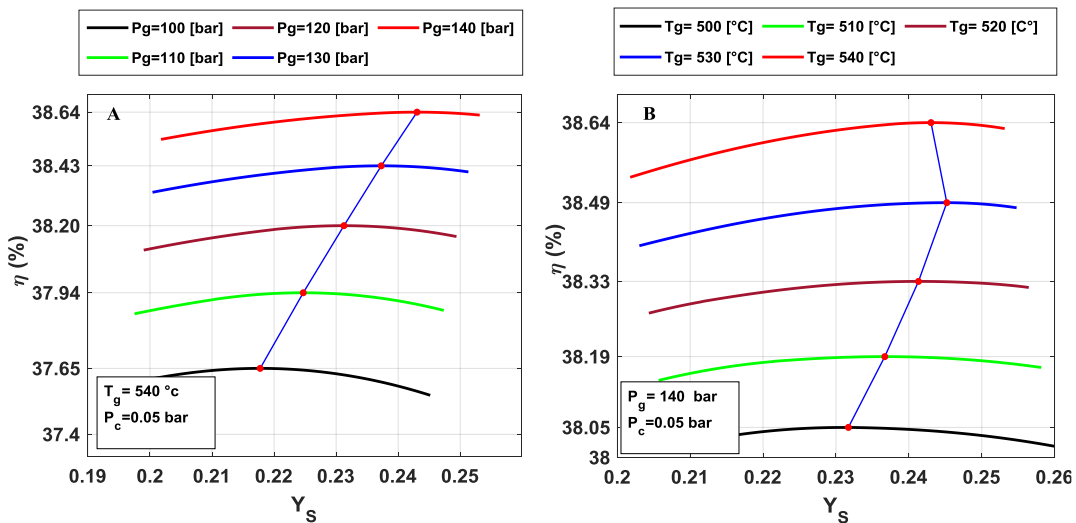


Figure 3.12 : effets de la fraction massique sur le rendement.

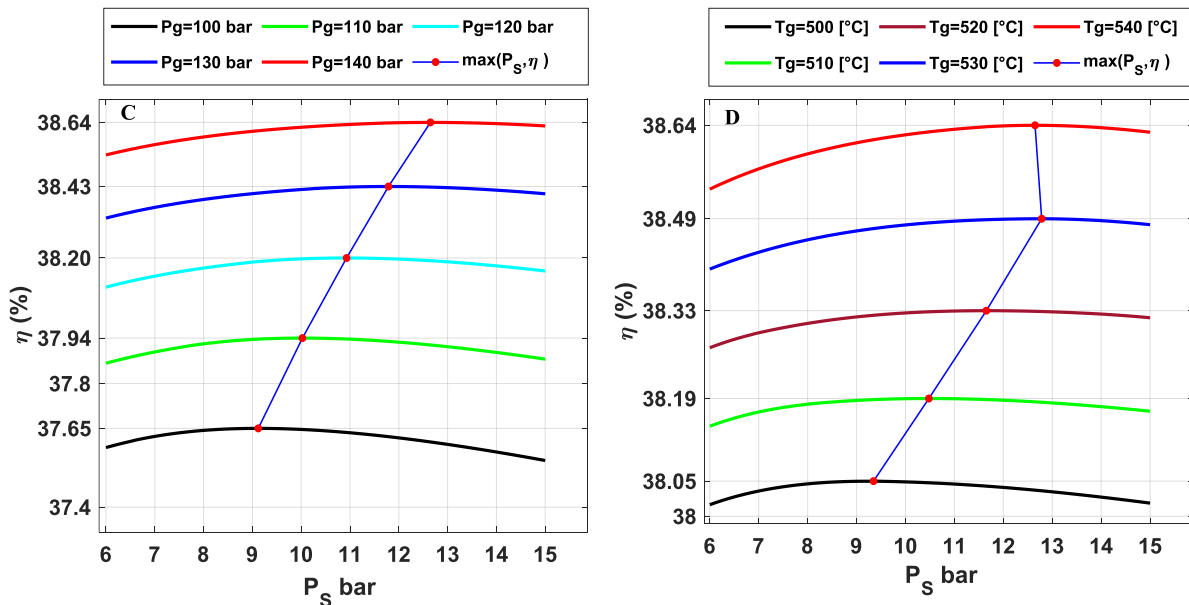
Figure 3.12 a présente les effets de la Fraction massique soutirée sur le rendement de la turbine pour différentes pression de génération, avec température de génération constante à 540 °C et pression de condenseur  $P_c = 0.05$  bar. Les cinq courbes tracées pour des pressions variant de 112 à 140 bar, À 112 bar, la Courbe 1 indique un rendement inférieur par rapport aux courbes 2 à 5, dans le courbe 5, le rendement est plus élevé et fraction massique soutirée est plus grand.

Ces observations soulignent l'impact significatif des légères variations de la Fraction Massique Soutirée sur le rendement de la turbine à des pressions plus élevées mettant en évidence l'importance critique de ce paramètre dans ces conditions opérationnelles spécifique

Figure 3.12b expose les effets de la Fraction massique soutirée sur le rendement de la turbine pour différentes températures de génération, avec une pression de génération constante  $P_g = 140$  bar. Les résultats montrent comment les variations de température de génération affectent le rendement de la turbine. À des températures plus élevées, de légères variations dans la Fraction Massique Soutirée entraînent des changements plus importants dans le rendement. Ces constatations soulignent l'importance cruciale d'un contrôle précis de ce paramètre pour optimiser les performances de la turbine.

**3.6.4. Les effets de pression de soutirage sur le rendement**

La figure 3.13 illustre Les effets de pression de soutirage sur le rendement.



**Figure 3.13 : Les effets de pression de soutirage sur le rendement**

Figure 3.13 C, illustre Les effets de pression de soutirage sur le rendement de turbin à vapeur pour différentes pression de génération, avec température de génération constante à 540 °C et pression de condenseur  $P_c = 0.05$  bar.

À partir de cette figure, on peut remarquer plusieurs courbes, où chaque courbe représente les variations de pression par rapport à l'efficacité. Ces courbes montrent une augmentation continue de l'efficacité jusqu'à ce qu'elle atteigne sa valeur maximale, puis commence à diminuer. On remarque aussi que la courbe numéro 1 montre une efficacité plus faible par rapport aux autres courbes, ce qui signifie que plus la pression à l'entrée de la turbine augmente, plus l'efficacité augmente. Donc, l'augmentation de la pression à l'entrée de la turbine conduit à une amélioration de l'efficacité.

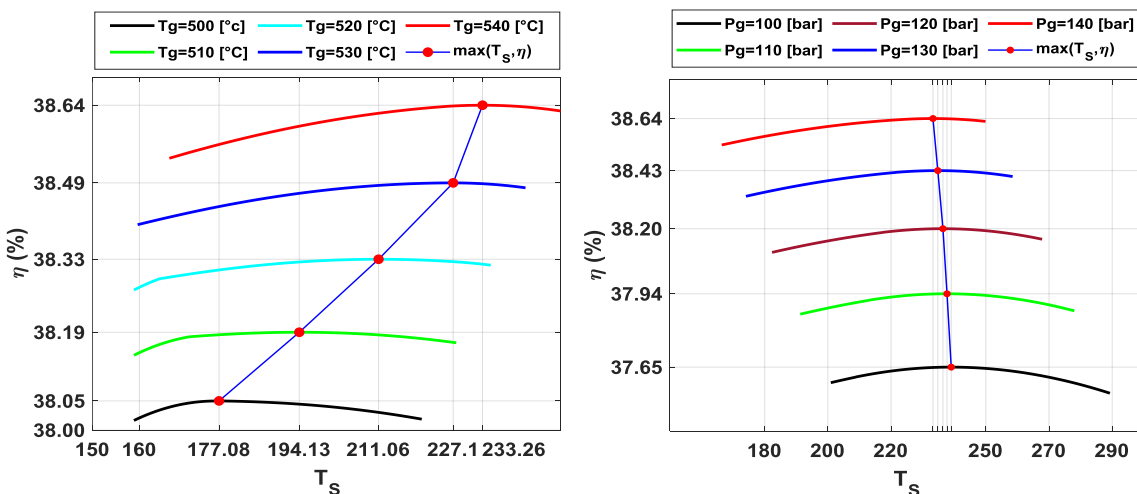
Figure 3.13D, expose les effets de la pression de soutirage sur le rendement de turbin à vapeur pour différentes températures de génération, avec une pression de génération constante  $P_g = 140$  bar. et

Pression de condenseur  $P_c = 0.05$  bar.

les résultats démontrent des tendances significatives à des températures spécifiques, des pressions de soutirage optimales sont observées pour maximiser le rendement. À 512°C, le rendement atteint son sommet à 38,05% avec une pression d'entrée légèrement inférieure, tandis qu'à 540°C, le maximum de 38,64% est obtenu avec une pression légèrement plus élevée. Cette corrélation souligne la nécessité d'ajustements précis de la pression en fonction de la température pour optimiser l'efficacité de la turbine à vapeur dans des conditions opérationnelles spécifiques. Trouver l'équilibre idéal entre température et pression d'entrée apparaît comme un impératif pour garantir les performances optimales des installations de turbines à vapeur.

**3.6.5. Les effets de température de soutirage sur le rendement**

La figure 4.14 représente, les effets de température de soutirage sur le rendement



**Figure 4.14 : effets de température de soutirage sur le rendement**

Figure 3.14 E explore les effets de la Température de soutirage sur le rendement de la turbine pour différentes pressions de génération avec une température de génération  $T_g = 140\text{ °C}$ , et  $P_c = 0.05\text{ bar}$ . Les courbes démontrent une tendance croissante du rendement jusqu'à l'atteinte de valeurs maximales, suivie d'une décroissance. À une pression de génération de 112 Bar, le rendement maximal de 37,65% est observé à une température de soutirage de 239,45°C. À 110 Bar, le rendement maximal s'élève à 37,94% pour une température de 234,79°C. Pour une pression de 120 Bar, le rendement maximal atteint 38,20% à 236,42°C, tandis qu'à 130 Bar, il culmine à 38,43% à 237,71°C. Enfin, à 140 Bar, le rendement maximal de 38,64% est atteint à une température de soutirage de 239,45°C. Cette analyse révèle une corrélation intéressante entre la pression de génération, la température de soutirage et le rendement de la turbine, illustrant comment ces paramètres interagissent pour optimiser les performances de la turbine à différentes conditions

Figure 3.14 F examine les effets de la température de soutirage sur le rendement de la turbine pour différentes températures de génération avec une pression  $P_g = 140\text{ bar}$ , et  $P_c = 0.05\text{ bar}$ .

À une température de génération de 512°C, le rendement culmine à 38,05% avec une température de soutirage de 177,08°C, révélant une corrélation optimale pour cette température d'entrée spécifique.

À 510°C de température de génération, le rendement maximal de 38,19% est observé avec une légère diminution de la température de soutirage à 194,13°C, illustrant une adaptation subtile en réponse à une légère hausse de la température d'entrée.

À 520°C de température de génération, le rendement optimal de 38,33% est enregistré avec une température de soutirage de 211,06°C, démontrant une corrélation précise pour obtenir le meilleur rendement à cette température d'entrée.

Lorsque la température de génération monte à 530°C, le rendement maximal de 38,49% est atteint avec une légère augmentation de la température de soutirage à 227,1°C pour optimiser l'efficacité.

Enfin, à une température de génération de 540°C, le rendement optimal de 38,64% est obtenu avec une température de soutirage de 233,26°C, Cette analyse met en lumière l'importance cruciale de l'ajustement précis entre ces températures pour optimiser l'efficacité globale de la turbine.

3.6.6. Effets de Pression de soutirage sur la Fraction massique soutirées

La figure 3.15 représente les effets de pression de soutirage sur fraction massique soutirée

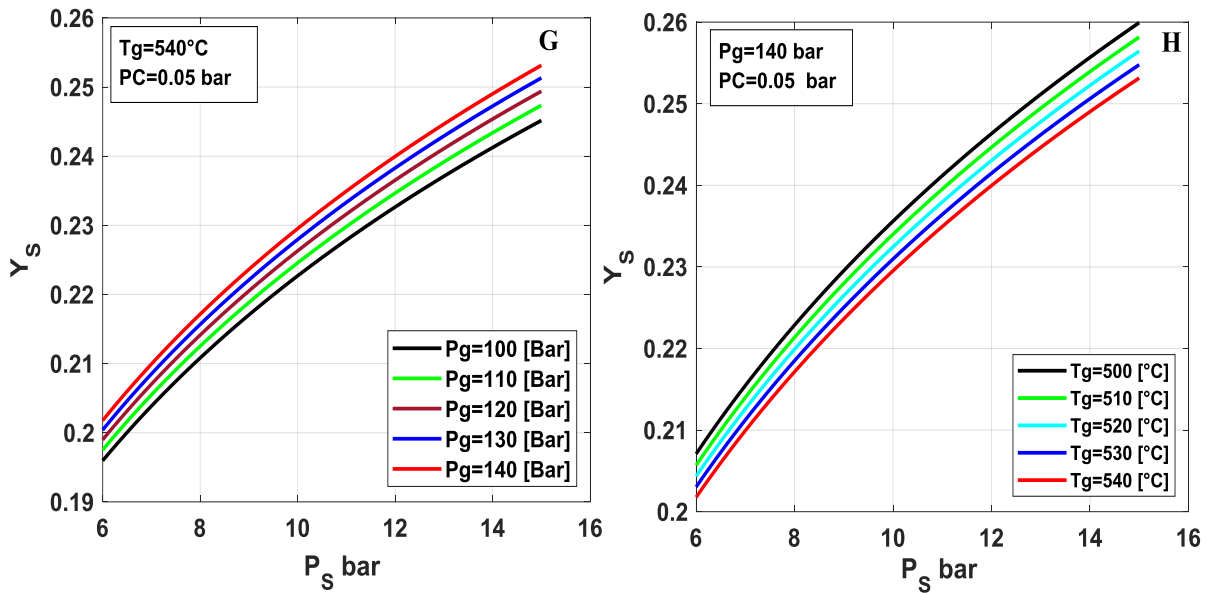


Figure 3.15 : Effets de pression de soutirage sur fraction massique soutirée

Figure 3.15 G étudie les effets de la Pression de soutirage sur la Fraction Massique Soutirée pour différentes valeurs de Pression génération, avec une pression de condenseur constante de 0.05 [Bar] et une température  $T_g = 140 \text{ }^\circ\text{C}$  , Les courbes tracées pour différentes valeurs de  $P_g$ , dans l'ordre : 112, 110, 120, 130 et 140 [Bar]. Les valeurs de la Fraction Massique Soutirée évoluent en fonction de la Pression de soutirage et montrent une augmentation générale à mesure que la Pression d'entrée augmente.

Chaque courbe représente la variation de la Fraction Massique Soutirée pour une valeur spécifique de Pression de générateur avec une augmentation progressive de la Fraction Massique à mesure que  $P_2$  augmente.

L'analyse révèle une relation positive entre la Pression de soutirage et la Fraction Massique Soutirée. À mesure que la Pression d'entrée augmente, la Fraction Massique Soutirée augmente également, indiquant une corrélation directe entre ces deux paramètres

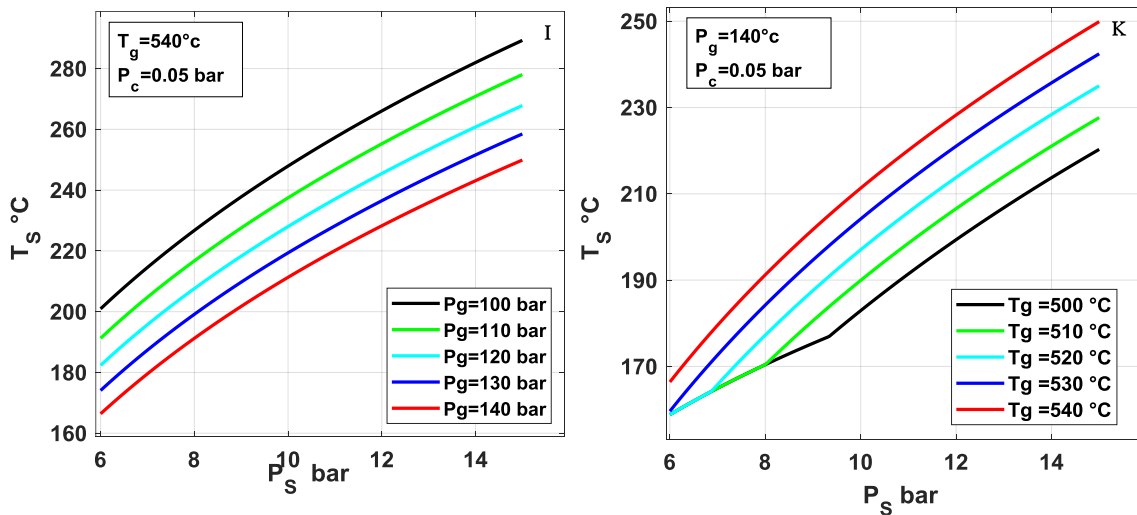
Figure 3.15H présente une analyse des effets de la Pression de soutirage sur la Fraction Massique Soutirée, la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de 512  $^\circ\text{C}$  à 540  $^\circ\text{C}$ .

Les courbes tracées illustrent comment la Fraction Massique Soutirée évolue en fonction de la Pression de soutirage pour différentes valeurs de température d'entrée. Globalement, chaque courbe

montre une tendance à l'augmentation de la Fraction Massique Soutirée avec l'élévation de la Pression de soutirage, tout en tenant compte des variations de température de générateur de vapeur. Cette observation met en lumière l'impact significatif de la Pression de soutirage sur la Fraction Massique Soutirée, indépendamment des variations de température de générateur de vapeur. Elle souligne comment la pression de soutirage du système influence la quantité de fluide extrait.

**3.6.7. Effets de pression de soutirage sur température de soutirage**

La figure 4.16 représente les effets de pression de soutirage sur température de soutirage. Dans le premier cas, En gardant la température de génération constante à 540 °C et en effectuant une augmentation de la pression de 112 bar à 140 bar. Pour le deuxième cas, la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de 512 °C à 540 °C.



**Figure 3.16 : Les effets de pression de soutirage sur température de soutirage**

La figure 3.16 I représente le premier cas. Les courbes tracées illustrent l'évolution de la température de soutirage en fonction de la pression de soutirage pour différentes valeurs de pression de générateur de vapeur. Chaque courbe présente une tendance générale, indiquant comment la température de soutirage varie avec l'augmentation de la pression du générateur, tout en maintenant la température du générateur constante à 540 [°C]. L'analyse met en lumière la relation entre la pression de soutirage et la température de soutirage pour différentes valeurs de pression du générateur, toutes avec une température de générateur constante.

La figure 3.16K illustre le deuxième cas, les cinq courbes distinctes sont présentées pour les températures de générateur suivantes : 512 °C, 510 °C, 520 °C, 530 °C et 540 °C, avec un point de départ commun à une température de soutirage de 160 °C.

Chacune de ces courbes débute à une température de soutirage de 160 °C et évolue en fonction de la pression de soutirage pour les différentes températures de générateur. À mesure que la pression de soutirage augmente, la température de soutirage augmente également de manière proportionnelle pour chaque température d'entrée spécifique. L'observation de cette figure met en évidence la relation constante et proportionnelle entre la pression de soutirage et la température de soutirage, indépendamment des variations de température de générateur ( $T_g$ ). Pour chaque température d'entrée, une augmentation de la pression de soutirage conduit à une augmentation proportionnelle de la température de soutirage.

## 3.7 Les résultats d'optimisation

### 3.7.1. Variation de la pression de soutirage en fonction des variables $P_g$ et $T_g$ .

La figure 3.17 présente comment la pression de soutirage varie en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur.

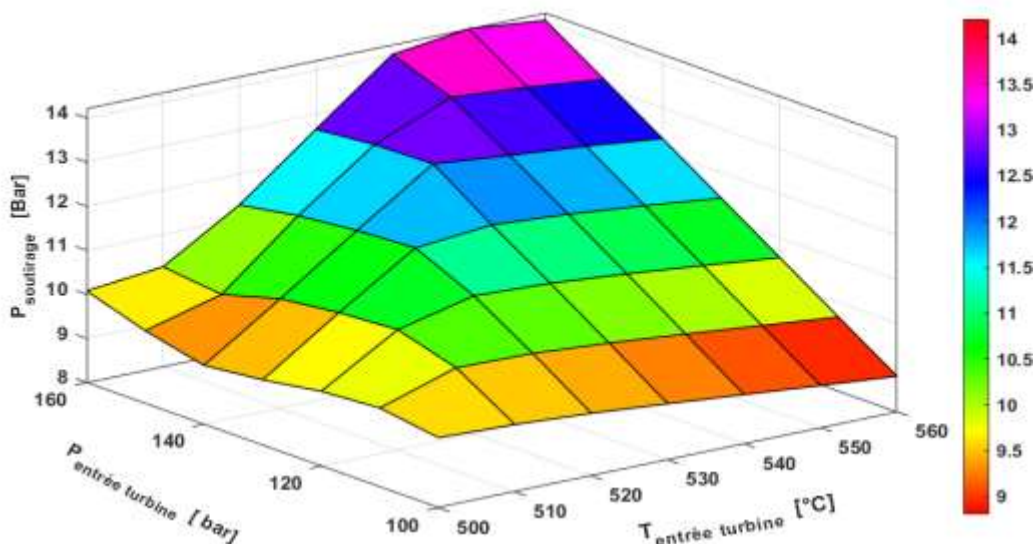


Figure 3.17 : Variation de la pression de soutirage en fonction des variables  $P_g$  et  $T_g$

La pression de soutirage augmente de façon non linéaire avec la température de générateur  $T_g$  et la pression de générateur ( $P_g$ ), atteignant des valeurs maximales d'environ 14 bar. Cette augmentation est plus marquée lorsque  $T_g$  et  $P_g$  sont élevées.

L'augmentation de  $P_s$  est due à une meilleure utilisation de l'énergie thermique à des températures et des pressions plus élevées. Cela peut indiquer une extraction plus efficace de l'énergie thermique disponible dans le système, conduisant à une augmentation de la pression de soutirage.

L'optimisation de  $T_g$  et  $P_g$  peut entraîner une augmentation significative de  $P_s$ . Cela peut indiquer un meilleur rendement thermique du système, avec une utilisation plus efficace de l'énergie thermique disponible.

### 3.7.2. Variation du rendement en fonction des variables $P_g$ et $T_g$

La figure 3.18 représente le changement de rendement en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur.

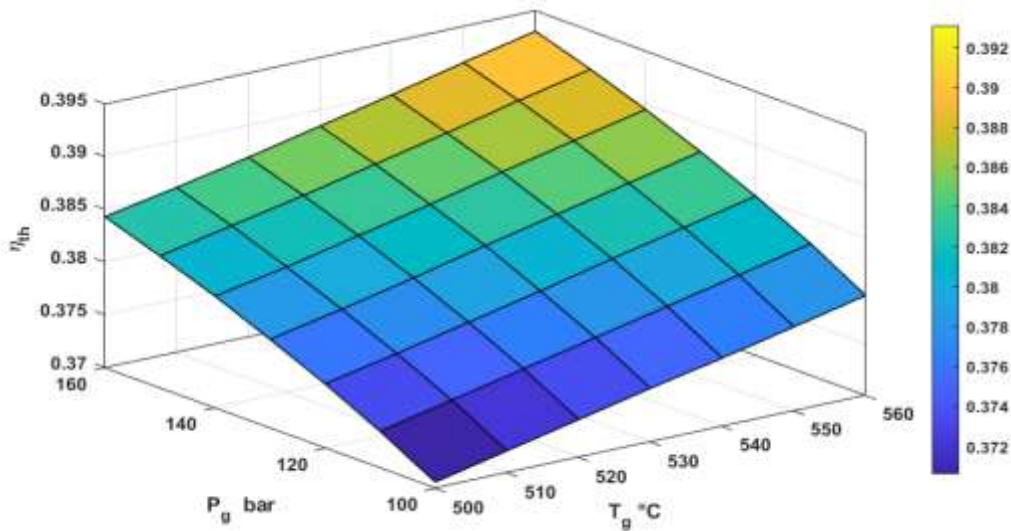


Figure 3.18 : Variation du rendement en fonction des variables  $P_g$  et  $T_g$

Le rendement ( $\eta$ ) augmente de 0,372 à 0,392 à mesure que  $P_g$  et  $T_g$  augmentent. Cette augmentation du rendement peut être attribuée à une meilleure conversion d'énergie thermique en énergie mécanique, résultant en une augmentation globale de l'efficacité du système. L'augmentation du rendement avec  $P_g$  et  $T_g$  indique une meilleure performance du générateur. Cela suggère que des valeurs plus élevées de  $P_g$  et  $T_g$  peuvent conduire à un meilleur rendement énergétique du système.

### 3.7.3. Variation de la température de soutirage en fonction des variables $P_g$ et $T_g$

La figure 3.19 illustre l'évolution de la température de soutirage en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur.

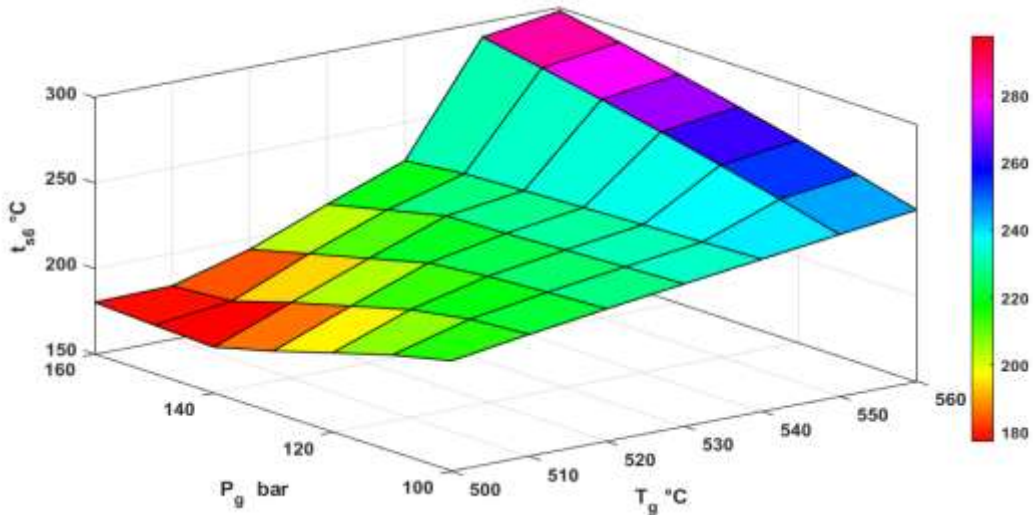


Figure 3.19: Variation de la température de soutirage en fonction des variables  $P_g$  et  $T_g$

La température de soutirage ( $T_{s1}$ ) augmente dans la plage de 180 à 280 °C avec l'augmentation de  $T_g$  et  $P_g$ . Cette augmentation de  $T_{s1}$  peut indiquer une récupération efficace de chaleur à des températures plus élevées. Cela peut être dû à une meilleure utilisation de la chaleur résiduelle à des températures plus élevées. Une augmentation de  $T_g$  et  $P_g$  conduit à une augmentation de  $T_{s1}$ , indiquant une récupération de chaleur plus efficace. Cela peut contribuer à l'efficacité globale du système en récupérant plus d'énergie thermique.

### 3.7.4. Variation de fraction massique soutirée en fonction des variables $P_g$ et $T_g$

La figure 3.20 représente variation de fraction massique soutirée en fonction de température et pression de générateur de vapeur.

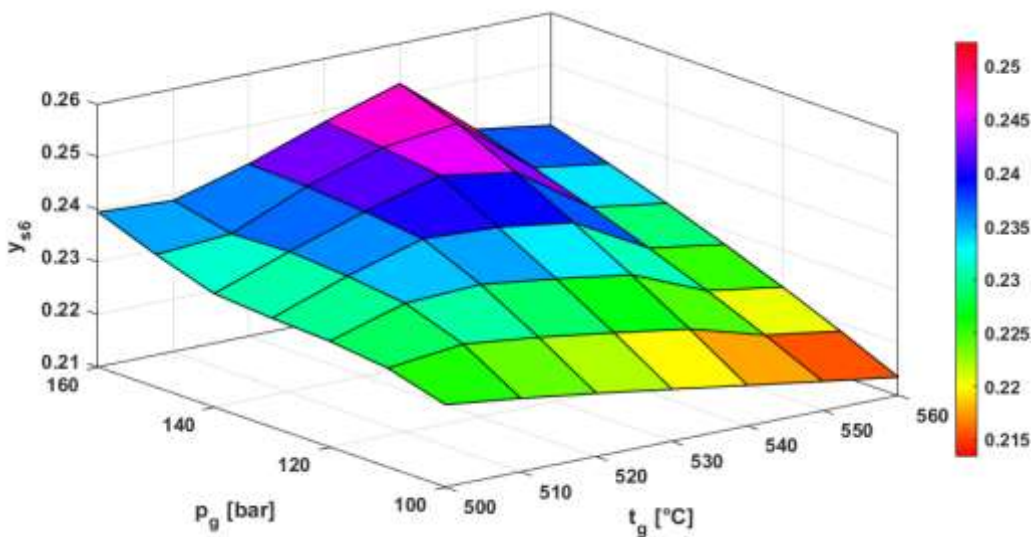


Figure 3.20 : Variation de fraction massique soutirée en fonction des variables  $P_g$  et  $T_g$

$Y_{S1}$  augmente de manière linéaire avec  $P_g$ , montrant ainsi une augmentation proportionnelle avec la pression du générateur. Des pressions plus élevées favorisent une fraction massique soutirée  $Y_{S1}$  plus importante. À l'inverse,  $Y_{S1}$  diminue à mesure que  $T_g$  augmente. Cette relation suggère une relation inverse entre  $Y_{S1}$  et la température du générateur. Des températures de générateur plus élevées conduisent à des  $Y_{S1}$  plus basses. Cette figure souligne l'impact significatif de la pression et de la température du générateur sur la fraction massique soutirée  $Y_{S1}$ . Les pressions plus élevées favorisent une  $Y_{S1}$  plus importante, tandis que des températures de générateur plus élevées conduisent à des  $Y_{S1}$  plus basse

### 3.8 Conclusion

En conclusion, l'installation d'une turbine à vapeur avec un seul soutirage et un seul mélangeur représente une avancée significative dans l'efficacité énergétique des systèmes de production de puissance. L'ajout d'un cycle avec soutirage à la turbine permet d'augmenter le rendement de l'ensemble de l'installation de manière remarquable, généralement de l'ordre de 5%.

Cette amélioration significative du rendement se traduit par une utilisation plus efficace de l'énergie thermique, ce qui se traduit par des avantages économiques substantiels.

En effet, en augmentant le rendement de la turbine, on peut produire plus d'énergie avec la même quantité de vapeur. Cela se traduit par des économies considérables en termes de combustible ou de ressources en amont pour générer la vapeur.

En résumé, l'installation d'une turbine à vapeur avec un seul soutirage et un seul mélangeur présente des avantages indéniables en termes d'efficacité énergétique, de réduction des coûts opérationnels. Elle représente une avancée essentielle dans le domaine de la production d'énergie.

L'examen détaillé des figures montre que l'optimisation des paramètres  $P_g$  et  $T_g$  ainsi que des pressions de soutirage ( $P_s$ ) et des fractions massiques ( $Y_s$ ) et température de soutirage ( $T_s$ ) a un impact significatif sur les performances du système thermique. Une augmentation de  $P_g$  et  $T_g$  contribue à une augmentation du rendement ( $\eta$ ). Ces résultats mettent en évidence l'importance de l'équilibre entre pression et température pour optimiser l'efficacité du système thermique. Une manipulation précise de ces paramètres peut conduire à des améliorations significatives de l'efficacité énergétique et à une meilleure extraction des vapeurs du système.



---

## **Chapitre IV**

**Installation avec deux soutirages et deux mélangeurs.**

---



# Chapitre IV

## Installation avec deux soutirages et deux mélangeurs.

### 4 Chapitre IV : Installation avec deux soutirages et deux mélangeurs.

#### 4.1 Description de Schéma d'installation.

Le schéma ci-dessous représente le cycle installation avec deux soutirages et deux mélangeurs.

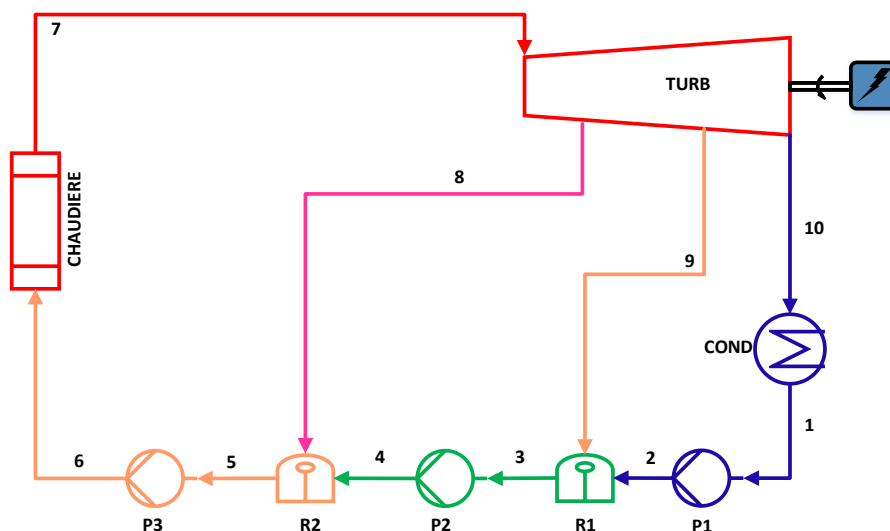


Figure 4.1 : installation avec deux soutirages et deux mélangeurs

Dans ce cycle d'installation avec deux soutirages et deux mélangeurs, le fluide entre d'abord dans la première pompe afin d'augmenter sa pression jusqu'à atteindre la pression du deuxième soutirage. Ensuite, le fluide chauffe dans le premier mélangeur, où il est mélangé avec la vapeur sortie du deuxième soutirage. Après cette étape, le fluide passe dans la deuxième pompe pour augmenter la pression jusqu'à celle du premier soutirage.

Une fois à la pression souhaitée, le fluide est chauffé dans un autre mélangeur. Le fluide qui sort de ce deuxième mélangeur entre ensuite dans une troisième pompe, où sa pression est encore augmentée jusqu'à atteindre la pression nécessaire pour le générateur de vapeur. Ce processus de circulation et de chauffage

du fluide est essentiel pour assurer un fonctionnement efficace de l'installation et la production de vapeur nécessaire pour les besoins du système.

Cette vapeur à une pression élevée est ensuite dirigée vers une turbine afin de produire de l'électricité, pendant que le condenseur et divers autres éléments se chargent de récupérer et de refroidir la vapeur une fois qu'elle a traversé la turbine.

**4.2 Etude thermodynamique.**

Dans cette configuration, nous avons effectué une étude approfondie des bilans massique et énergétique liés à ce cycle.

**4.2.1 Pompes**

Le tableau ci-dessous montre Bilans massiques et énergétiques les trois pompe

**Tableau 4.1 analyses de bilans de masse et d'énergie pour les trois pompes (cycle 02)**

Bilan	Massique	Energétique
1	$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_p$	$\dot{W}_{p1} = \dot{m}_p (h_2 - h_1)$
2	$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m} - \dot{m}_{s1}$	$\dot{W}_{p2} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_4 - h_3)$
3	$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 = \dot{m}$	$\dot{W}_{p3} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_6 - h_5)$

► L'équation de rendement pour les trois pompes

$$W_{is} = \dot{m} \int v dp \tag{4.1}$$

$$\eta_p = \frac{W_{is}}{W_r} \tag{4.2}$$

$$W_r = \frac{W_{is}}{\eta} = \dot{m} \frac{\int v dp}{\eta} \tag{4.3}$$

► Pour les deux pompes le rendement  $\eta_p = 65\%$

**4.2.2 Réchauffeur par mélangeur**

► Pour 1<sup>er</sup> Réchauffeur (2-3) :

► Le bilan de masse de la premier Réchauffeur s'écrit :

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_p \quad \dot{m}_3 = \dot{m} - \dot{m}_{s1} \quad , \quad \dot{m}_9 = \dot{m}_{s2} \tag{4.4}$$

- ▶ Le bilan d'énergie :

$$\dot{m}_p h_2 + \dot{m}_{s2} h_9 = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) h_3 \quad (4.5)$$

$$\dot{m}_p h_2 + \dot{m}_{s2} h_9 - (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) h_3 = 0 \quad (4.6)$$

- ▶ Pour 2<sup>ème</sup> Réchauffeur (4-5) :

- ▶ Le bilan de masse de la deuxième Réchauffeur s'écrit :

$$\dot{m}_4 = \dot{m} - \dot{m}_{s1} \quad \dot{m}_5 = \dot{m} \quad , \quad \dot{m}_8 = \dot{m}_{s1} \quad (4.7)$$

- ▶ Le bilan d'énergie :

$$(\dot{m} - \dot{m}_{s1}) h_4 + \dot{m}_{s1} h_8 = \dot{m} h_5 \quad (4.8)$$

$$(\dot{m} - \dot{m}_{s1}) h_4 + \dot{m}_{s1} h_8 - \dot{m} h_5 = 0 \quad (4.9)$$

### 4.2.3 La chaudière

- ▶ Le bilan de masse de la chaudière : s'écrit :

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_6 = \dot{m} \quad (4.10)$$

- ▶ Le bilan d'énergie :

$$\dot{m} h_6 + \dot{Q}_C = \dot{m} h_7 \quad (4.11)$$

- ▶ D'où la chaleur consommée par la chaudière est calculée par :

$$\dot{Q}_C = \dot{m} (h_7 - h_6) \quad (4.12)$$

- ▶ Le rendement de chambre de combustion s'écrit :

$$\eta_{cc} = \frac{\dot{Q}_{cc}}{\dot{m} \text{ PCI}} \quad (4.13)$$

Avec le rendement de chambre de combustion  $\eta_{cc} = 95 \%$

### 4.2.4 Turbine

- ▶ Le bilan de massique :

$$\dot{m}_7 = \dot{m} \quad \dot{m}_8 = \dot{m}_{s1} \quad \dot{m}_9 = \dot{m}_{s2} \quad \dot{m}_{10} = \dot{m}_p \quad (4.14)$$

- ▶ Le bilan d'énergie :

$$\dot{W}_T = \dot{W}_{t1} + \dot{W}_{t2} + \dot{W}_{t3} \quad (4.15)$$

$$\dot{W}_{t1} = \dot{m} (h_7 - h_8) \quad (4.16)$$

$$\dot{W}_{t2} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_8 - h_9) \quad (4.17)$$

$$\dot{W}_{t3} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2}) (h_9 - h_{10}) \quad (4.18)$$

$$\dot{W}_T = \dot{m} (h_7 - h_8) + (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_8 - h_9) + (\dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2}) (h_9 - h_{10})$$

► Le rendement de la turbine à vapeur

$$\eta_p = \frac{W_r}{W_{is}} \quad (4.19)$$

$$W_r = W_{is} \eta_p \quad (4.20)$$

Avec le rendement de la turbine à vapeur  $\eta_t = 90 \%$

**4.2.5 Condenseur**

► Le bilan de massique

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{10} = \dot{m}_p \quad (4.21)$$

► Le bilan d'énergie :

$$\dot{m}_p h_{10} = \dot{Q}_{cd} + \dot{m}_p h_1 \quad (4.22)$$

$$\dot{Q}_{cd} = \dot{m}_p (h_{10} - h_1) \quad (4.23)$$

**4.3 Performance de cycle avec réchauffeur par mélange**

Le rendement de cycle avec un seul soutirage et un seul mélangeur :

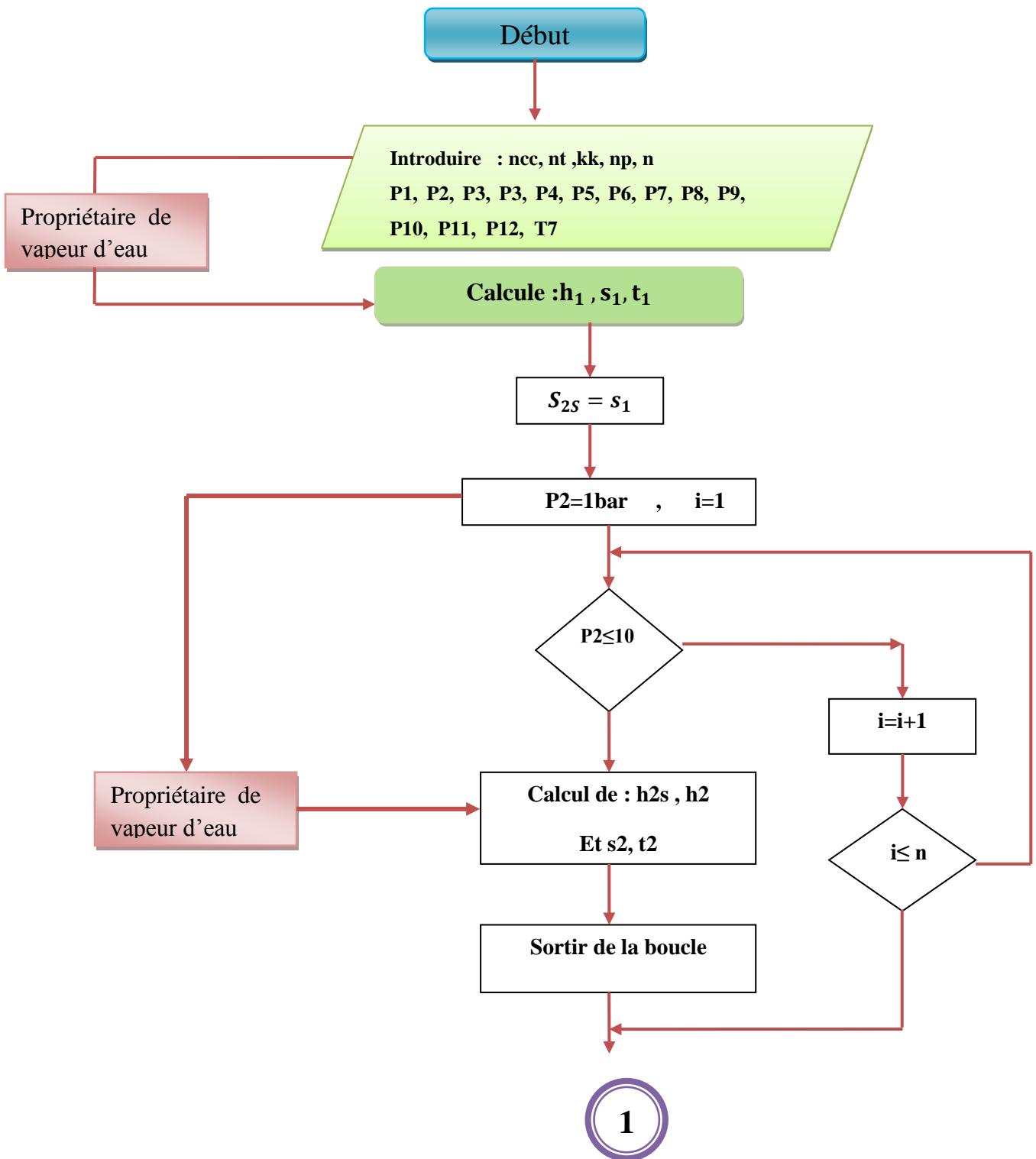
❖ Équation de rendement :  $\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{cd}} \quad (4.24)$

❖ Avec  $\dot{W}_{net} = \dot{W}_T - \dot{W}_{p1} - \dot{W}_{p2} - \dot{W}_{p3} \quad (4.25)$

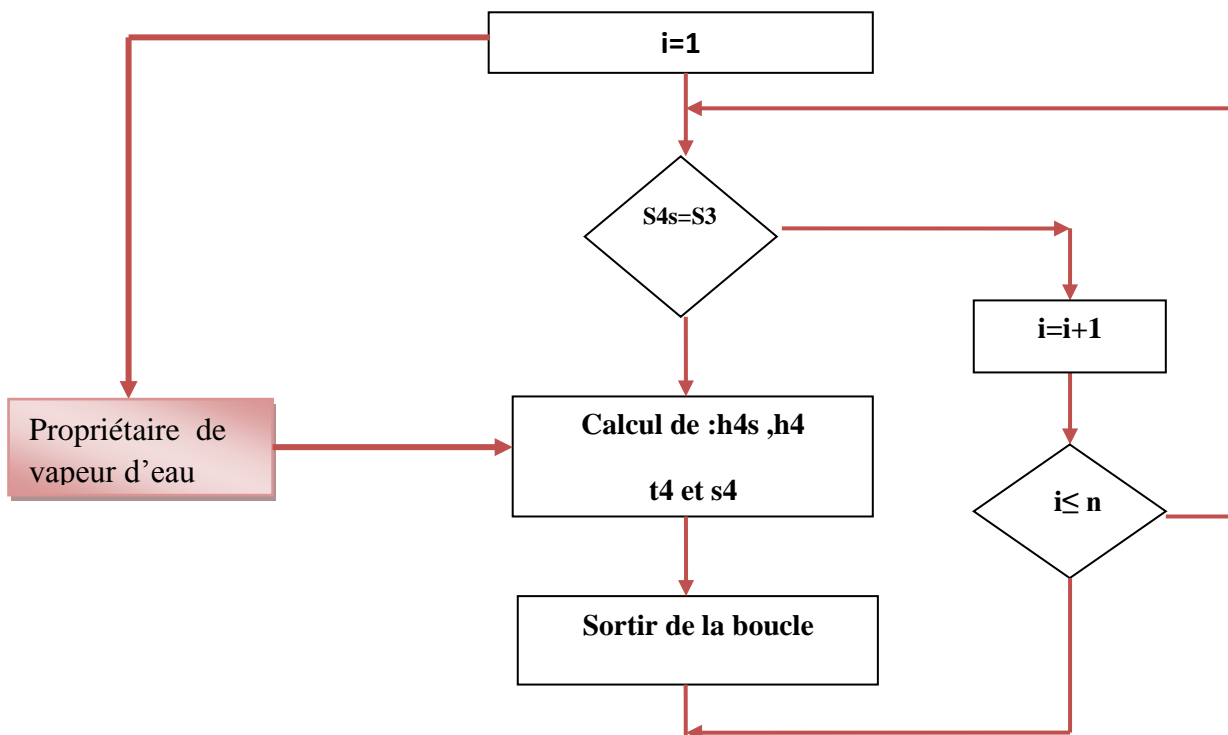
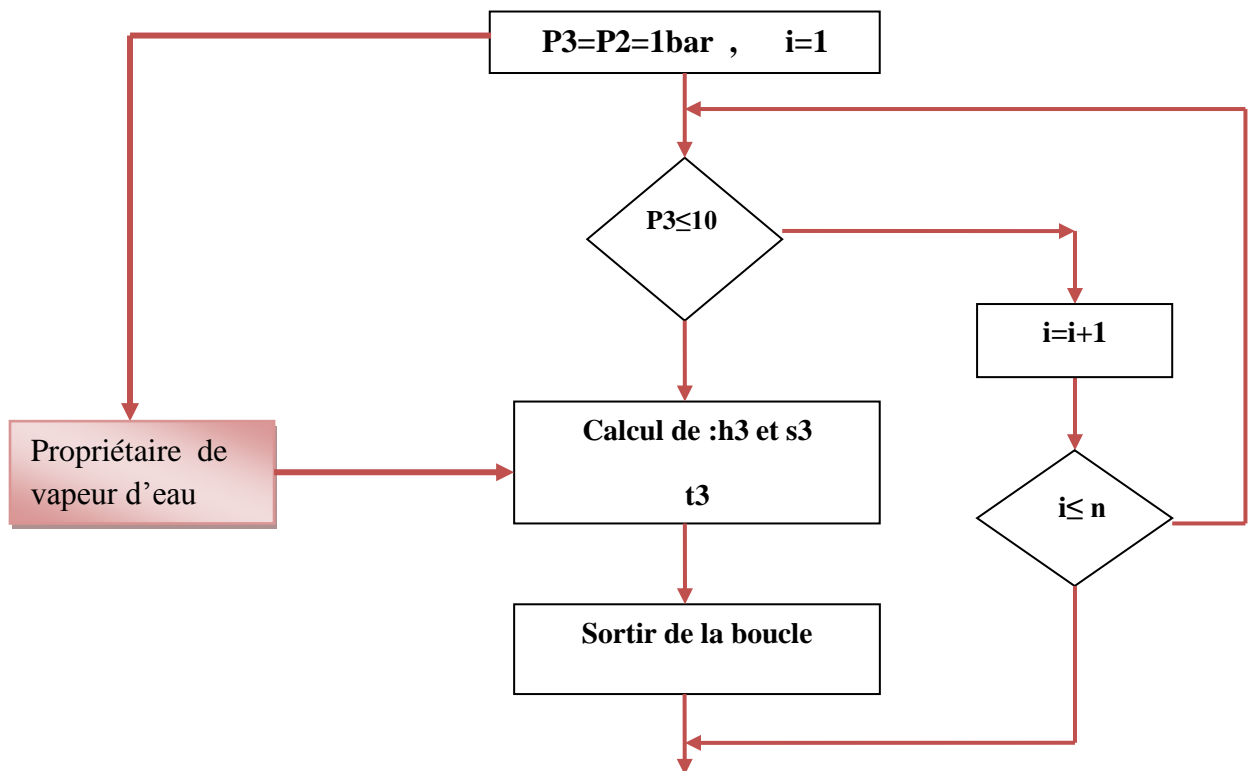
❖  $\eta_{th} = \frac{\dot{W}_T - \dot{W}_{p1} - \dot{W}_{p2} - \dot{W}_{p3}}{Q_{cd}} \quad (4.26)$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{W}_{p1} = \dot{m}_p (h_2 - h_1) \\ \dot{W}_{p2} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_4 - h_3) \\ \dot{W}_{p3} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_6 - h_5) \\ \dot{W}_T = \dot{m} (h_7 - h_8) + (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_8 - h_9) + (\dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2}) (h_9 - h_{10}) \end{array} \right.$$

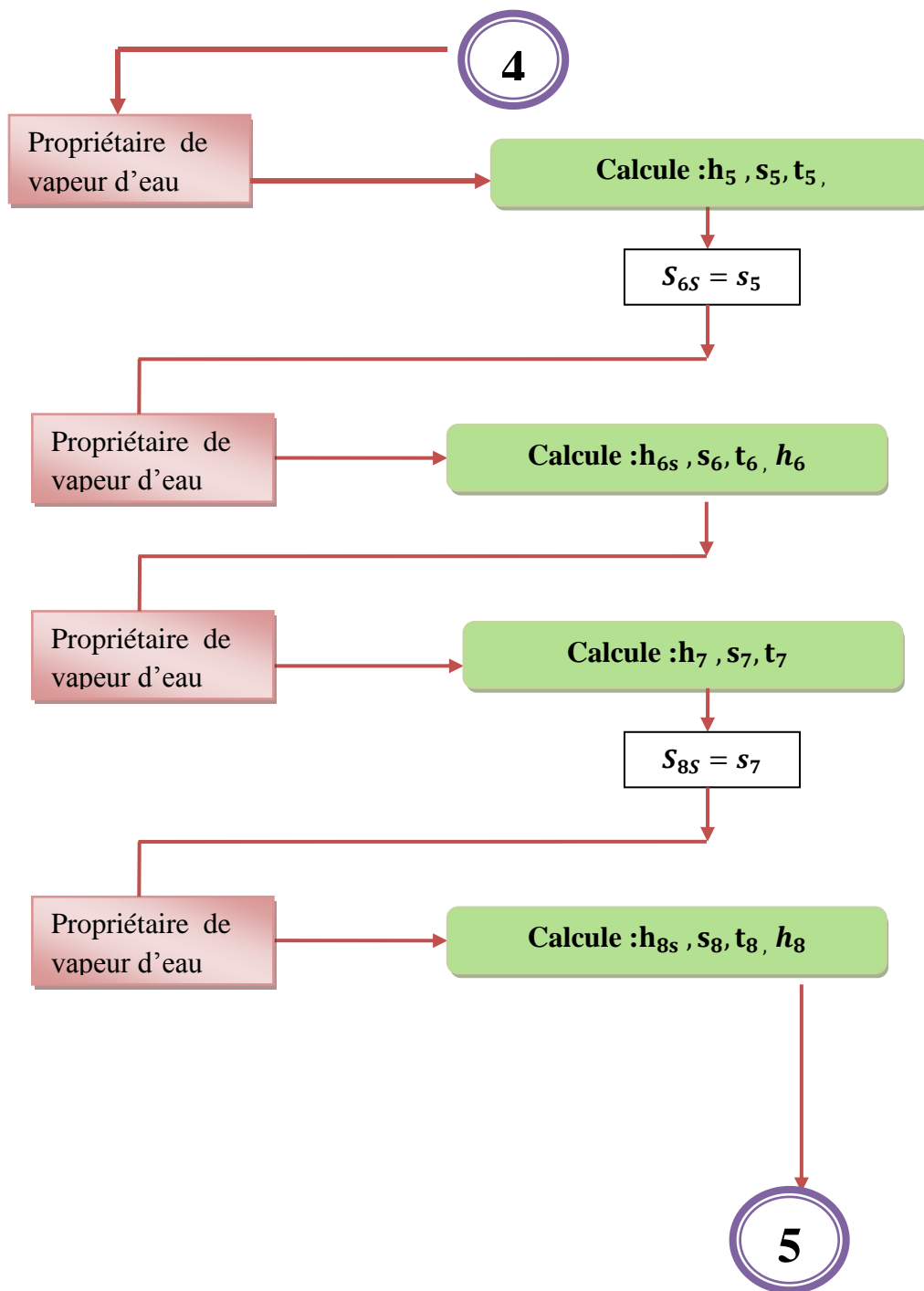
4.4 L'organigramme de calcul :

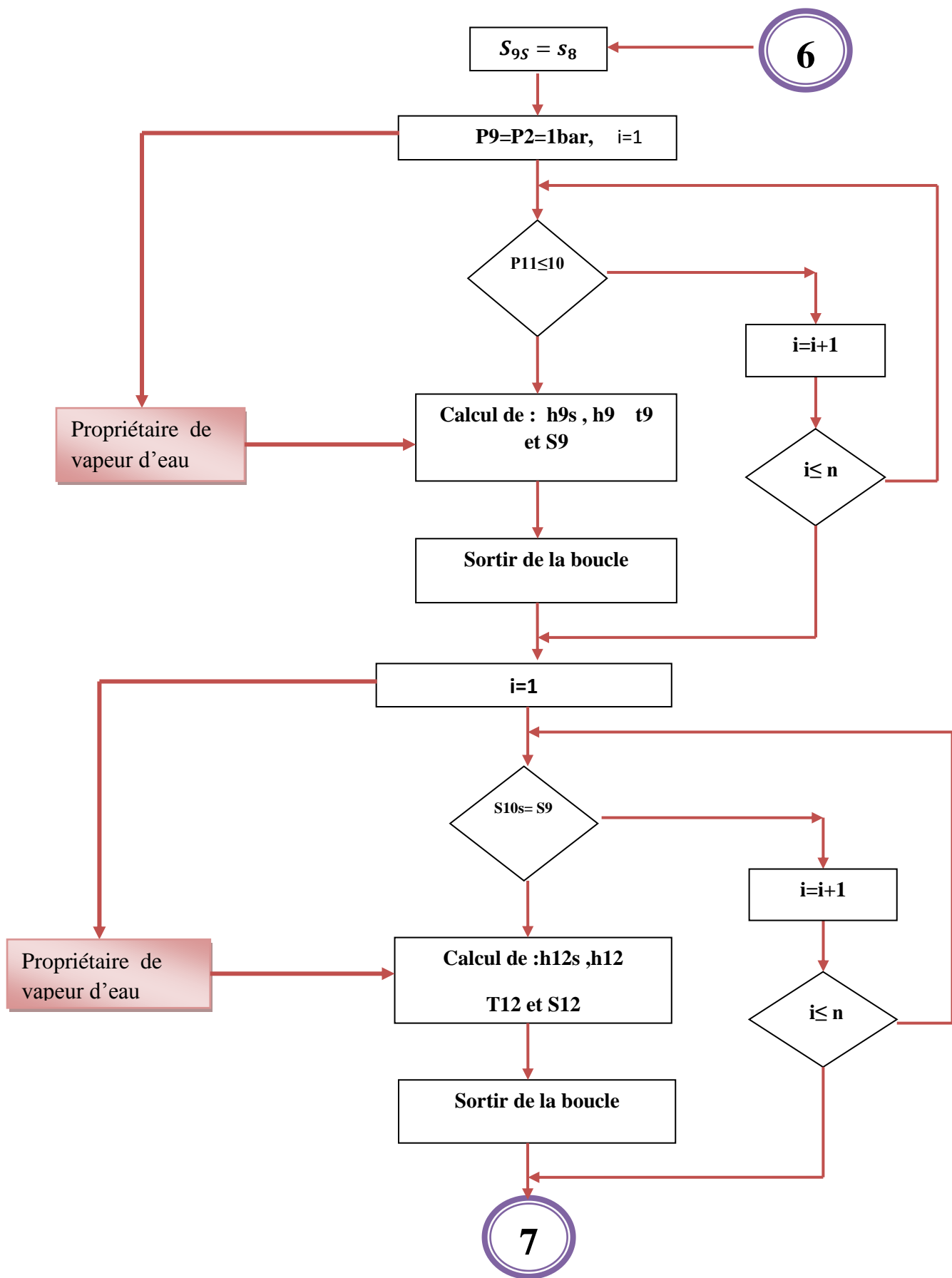


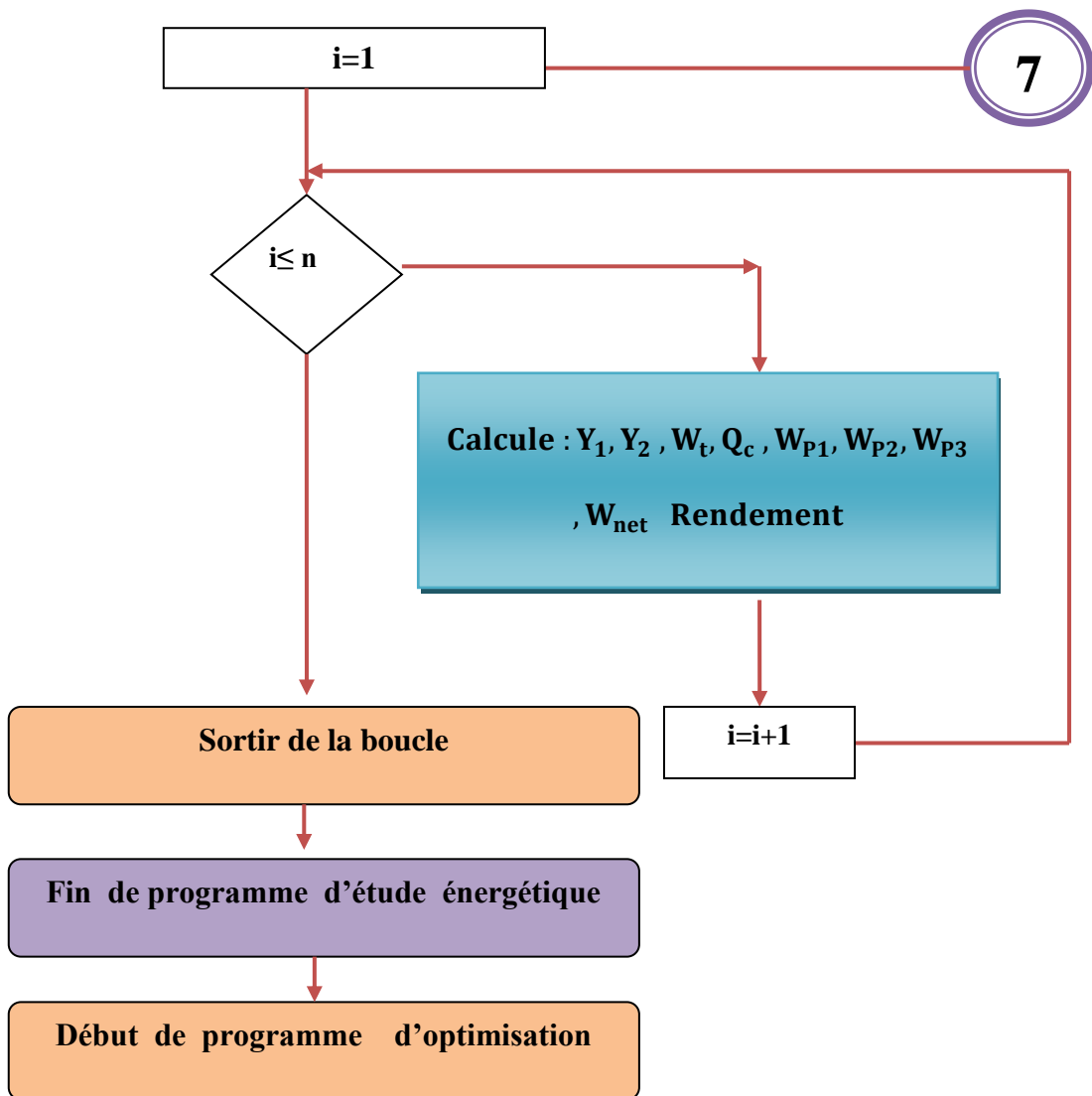
2

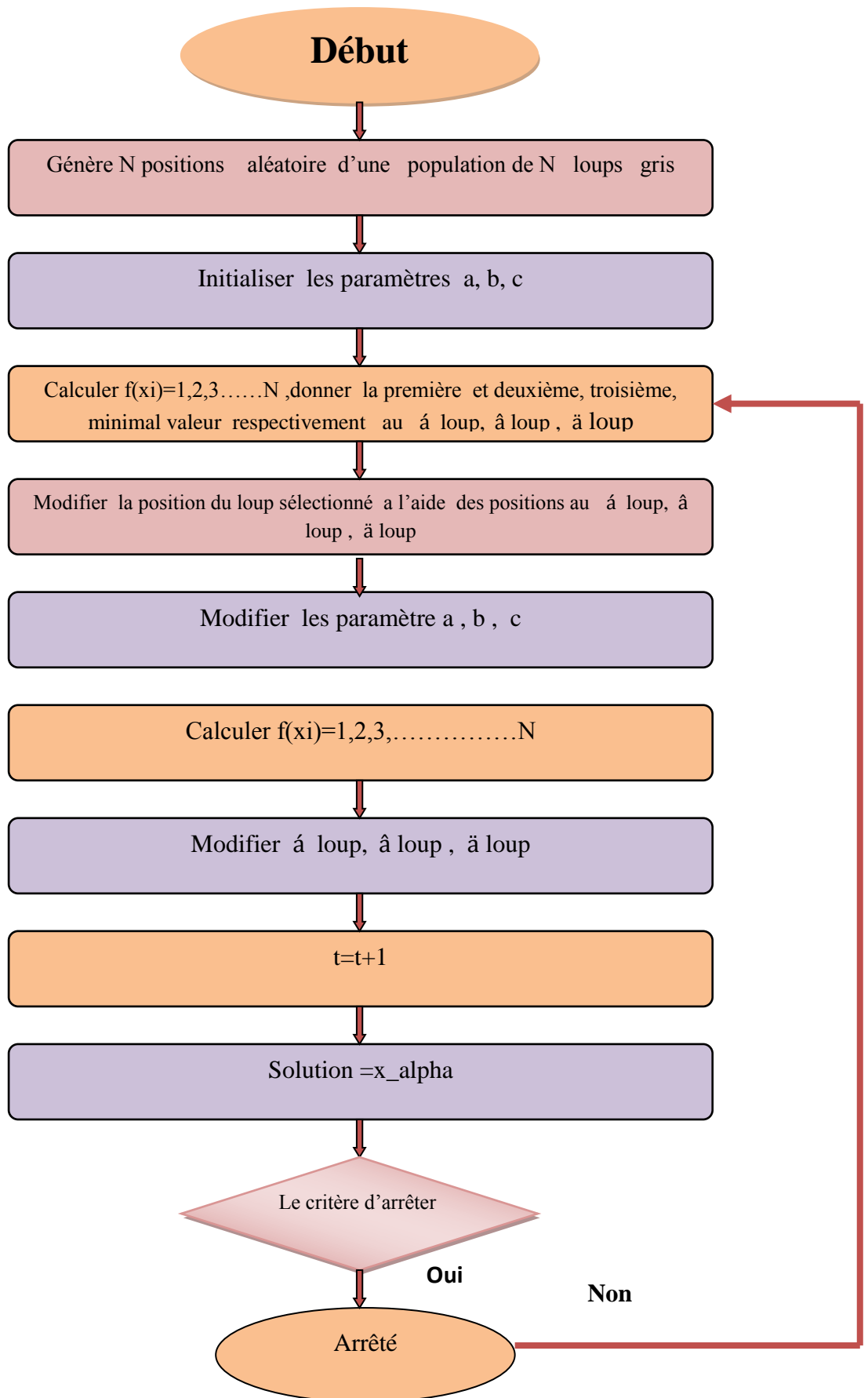


3









## 4.5 Le résultat deuxième programme

### 4.5.1. Variation de rendement en fonction de fraction massique soutirée $Y_{s1}$ et $Y_{s2}$

La figure 4.2 représente la variation de rendement en fonction de fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  et  $Y_{s2}$ , avec la température et la pression de générateur de vapeur  $P_g = 140$  bar et  $T_g = 540$  °C et la pression de condenseur  $P_c = 0.05$  bar.

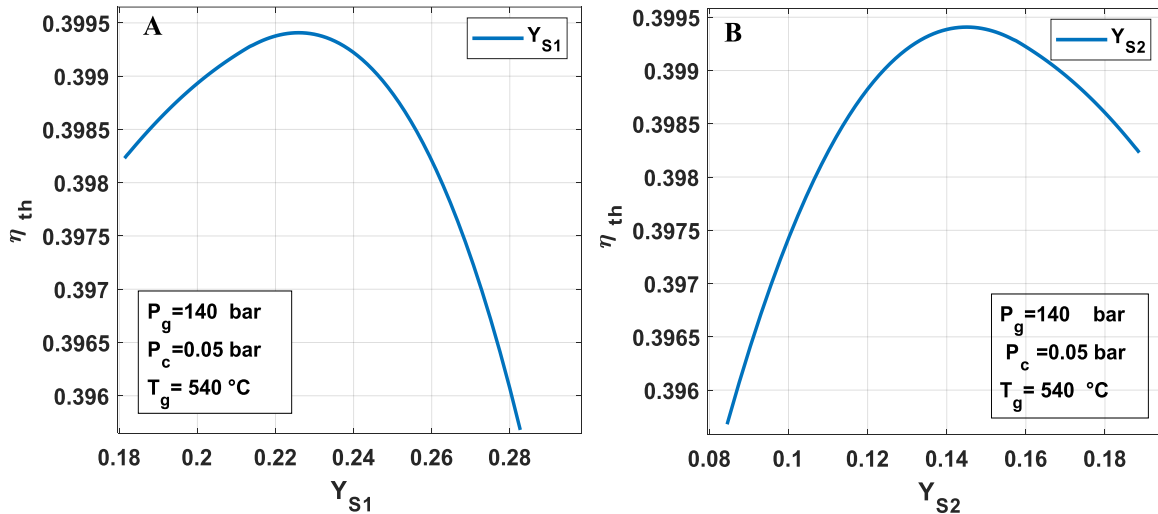


Figure 4.2 : Variation de rendement en fonction de fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  et  $Y_{s2}$

Dans le graphique (A), on observe une augmentation du rendement du système en fonction de fractions massique soutirée  $Y_{s1}$ . Il atteint son maximum à 0.3994 lorsque  $Y_{s1}$  atteint 0.23, qui correspond à la fraction massique soutirée pour un rendement optimal. Au-delà de cette valeur de  $Y_{s1}$ , le rendement diminue de manière significative.

Initialement, l'augmentation de la fraction massique soutirée contribue à améliorer le rendement, car elle favorise une utilisation plus efficace de l'énergie contenue dans la vapeur. Cependant, au-delà d'un seuil critique, cette augmentation excessive de la fraction massique soutirée entraîne une détérioration de la qualité de la vapeur.

Figure 4.2B : Le rendement du système en fonction des fractions massiques soutirées  $Y_{s2}$  enregistre une augmentation progressive, pour atteindre une valeur maximale de 0.3994 pour  $Y_{s2} = 0.15$ , qui correspond à la fraction massique soutirée pour un rendement optimal du système. Le rendement tend à diminuer pour des valeurs de la fraction massique soutirée qui dépassent ce seuil.

De même, une augmentation de la fraction massique lors du deuxième soutirage peut également contribuer à accroître le rendement, car cela permet d'extraire davantage d'énergie de la vapeur à une pression plus basse, réduisant ainsi les pertes thermodynamiques.

4.5.2. Variation de rendement en fonction de pression de soutirage  $P_{s1}$  et  $P_{s2}$

La Figure 4.3 illustre la variation du rendement en fonction des pressions de soutirage  $P_{s1}$  et  $P_{s2}$  avec la température et la pression de générateur de vapeur  $P_g = 140$  bar et  $T_g = 540$  °C et la pression de condenseur  $P_c = 0.05$  bar.

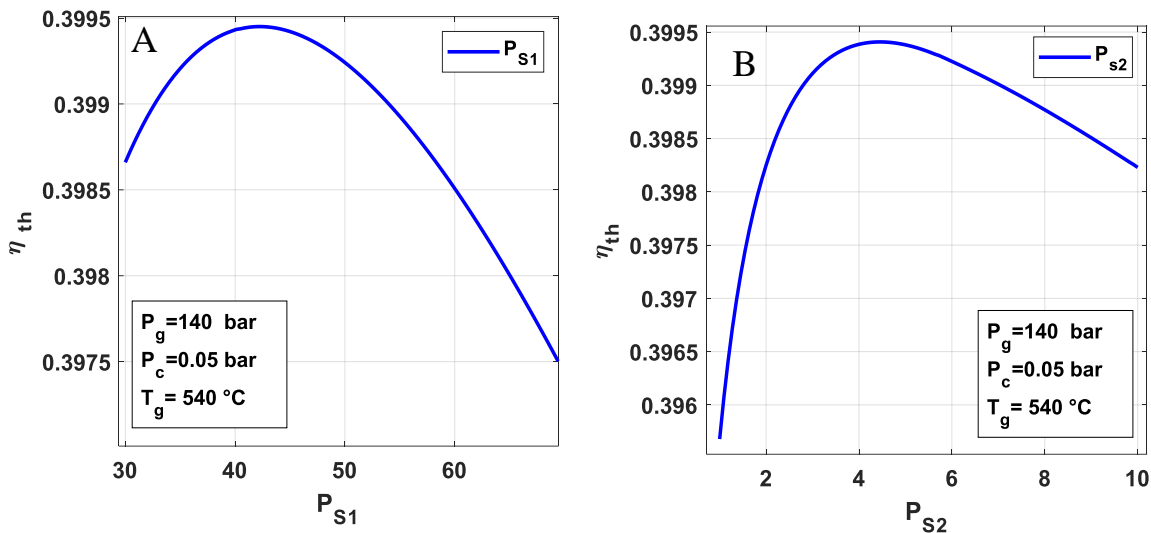


Figure 4.3 : La variation de rendement en fonction de pression de soutirage  $P_{s1}$  et  $P_{s2}$

Figure 4.3(A) montre la variation du rendement en fonction des pressions de soutirage  $P_{s1}$ , le rendement augmente progressivement avec la pression de soutirage, atteignant un maximum de 0.3946 lorsque  $P_{s1} = 40$  bar. Cette valeur représente la pression de soutirage optimale pour obtenir un rendement maximal du système. Au-delà de cette valeur de  $P_{s1}$ , le rendement commence à diminuer.

Figure 4.3 (B) montre la variation du rendement en fonction des pressions de soutirage  $P_{s2}$ , le rendement augmente progressivement avec la pression de soutirage, atteignant un maximum de 0.3946 lorsque  $P_{s2} = 4.5$  bar, qui correspond à la pression de soutirage pour un rendement optimal du système. Le rendement tend à diminuer pour des valeurs de  $P_{s2}$  plus élevées.

4.5.3. Variation de rendement en fonction de température de soutirage  $T_{s1}$  et  $T_{s2}$

La Figure 4.4 illustre la variation du rendement en fonction des températures de soutirage  $T_{s1}$  et  $T_{s2}$ . En utilisant un générateur de vapeur à une pression  $P_g = 140$  bar et une température  $T_g = 540$  °C avec une pression de condenseur  $P_c = 0.05$  bar

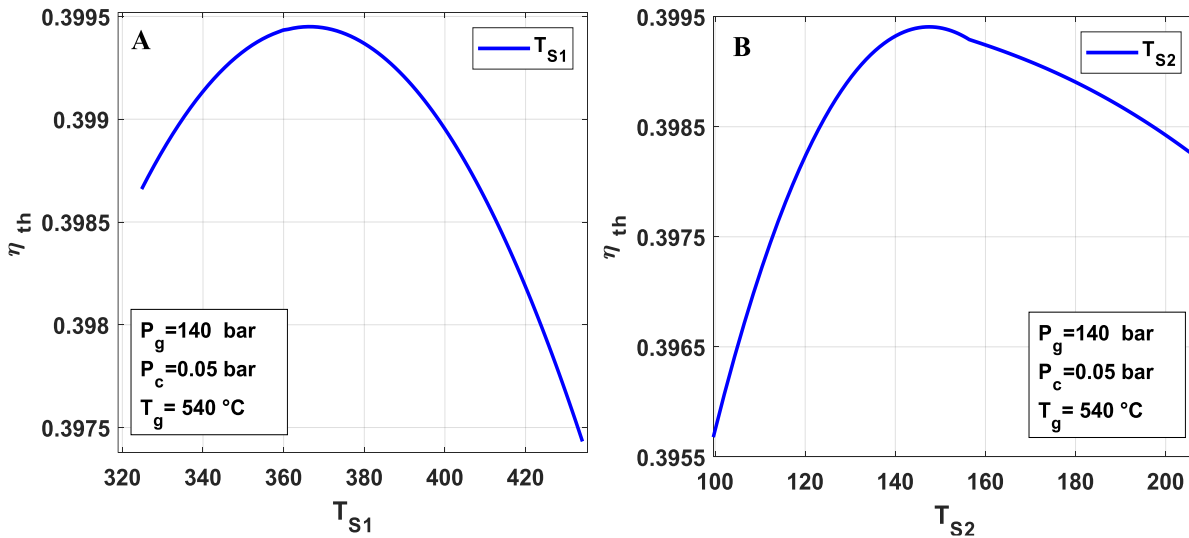


Figure 4.4 : la variation de rendement en fonction de température de soutirage  $T_{s1}$  et  $T_{s2}$

Le graphique (A) illustre la relation entre la température de soutirage  $T_{s1}$  et le rendement thermique. On peut observer que le rendement thermique atteint sa valeur maximale à une certaine température, puis commence à diminuer après ce point. Cela indique qu'il existe une température de soutirage optimale  $T_{s1}$  qui maximise le rendement du système. De même, le graphique (B) montre la relation entre la température de soutirage  $T_{s2}$  et le rendement thermique, le rendement atteint une valeur maximale à une certaine température, puis diminue. Ainsi, il existe également une température de soutirage optimale  $T_{s2}$  qui maximise le rendement du système.

#### 4.5.4. Variation de température de soutirage $T_{s1}$ et fraction massique $Y_{s1}$ en fonction de $P_{s1}$

La figure 4.5 représente la variation de température de soutirage  $T_{s1}$  et fraction massique  $Y_{s1}$  en fonction de  $P_{s1}$ , avec la température et la pression de générateur de vapeur  $P_g = 140$  bar et  $T_g = 540$  °C et la pression de condenseur  $P_c = 0.05$  bar

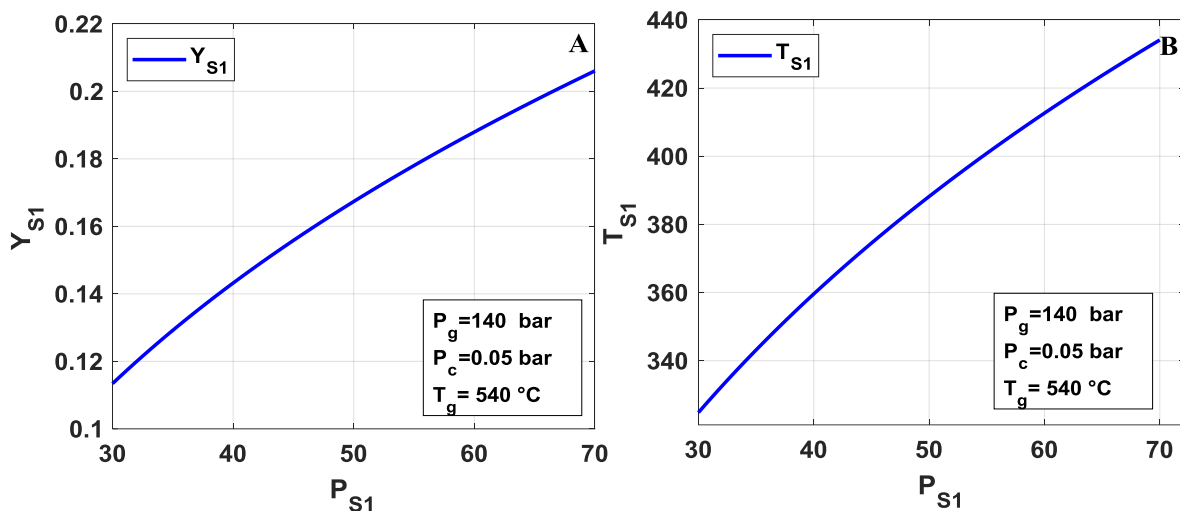


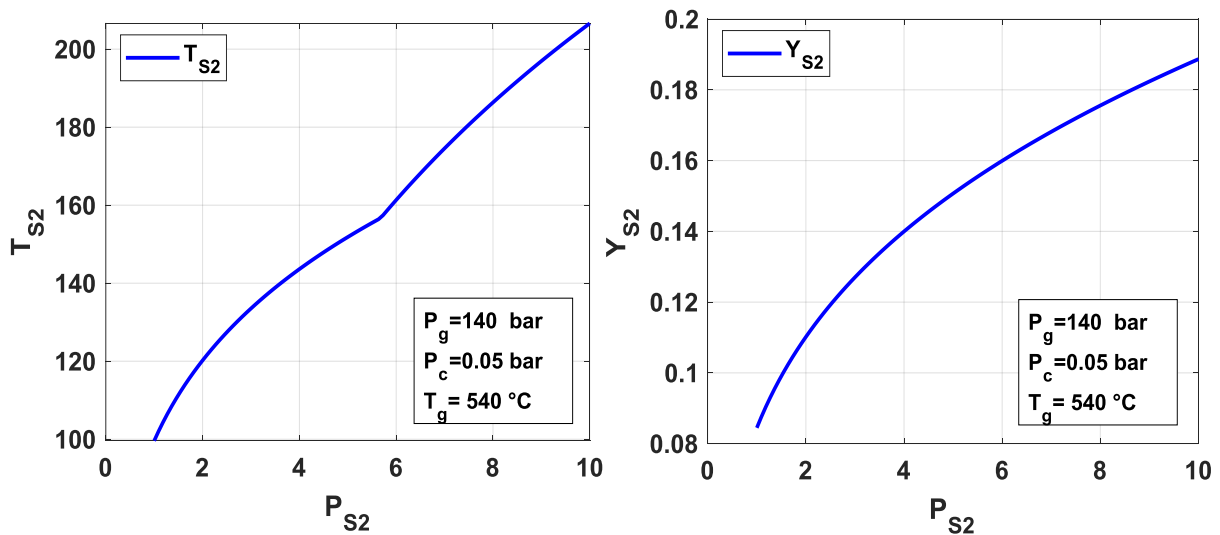
Figure 4.5 : la variation de température de soutirage  $T_{s1}$  et fraction massique  $Y_{s1}$  en fonction de  $P_{s1}$

La figure 4.5A montre la courbe d'évolution de la fraction massique  $y_{s1}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s1}$ . On enregistre une augmentation linéaire de  $y_{s1}$  de 0.12 à 0.19 pour des valeurs de  $P_{s1}$  allant de 30 à 60 [bar].

Figure 4.5 B Cette figure montre la variation de la température de soutirage  $T_{s1}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s1}$ . Cette variation montre une augmentation linéaire de  $T_{s1}$  en fonction de  $P_{s1}$ , allant de 340 à 420 °C pour  $P_{s1}$  allant de 30 à 40 [bar].

**4.5.5. Variation de température de soutirage  $T_{s2}$  et fraction massique  $Y_{s2}$  en fonction de  $P_{s2}$**

La figure 4.6 représente la variation de température de soutirage  $T_{s2}$  et fraction massique  $Y_{s2}$  en fonction de  $P_{s2}$  avec la température et la pression de générateur de  $P_g = 140$  bar et  $T_g = 540$ °C et la pression de condenseur  $P_c = 0.05$  bar



**Figure 4.6 : variation de température de soutirage  $T_{s2}$  et fraction massique  $Y_{s2}$  en fonction de  $P_{s2}$**

La figure 4.6 A montre la courbe d'évolution de la fraction massique  $Y_{s2}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s2}$ . On enregistre une augmentation linéaire de  $Y_{s2}$  de 0.08 à 0.18 pour des valeurs de  $P_{s2}$  allant de 1 à 10 [bar].

Figure 4.6B Cette figure montre la variation de la température de soutirage  $T_{s2}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s2}$ . Cette variation montre une augmentation quasi-linéaire de  $T_{s2}$  en fonction de  $P_{s2}$ , allant de 112 à 220 °C pour  $P_{s1}$  allant de 1 à 10 [bar].

4.5.6. Les effets de fraction massique sur le rendement pour premier soutirage

La figure 4.7 illustre les effets de la fraction massique sur le rendement

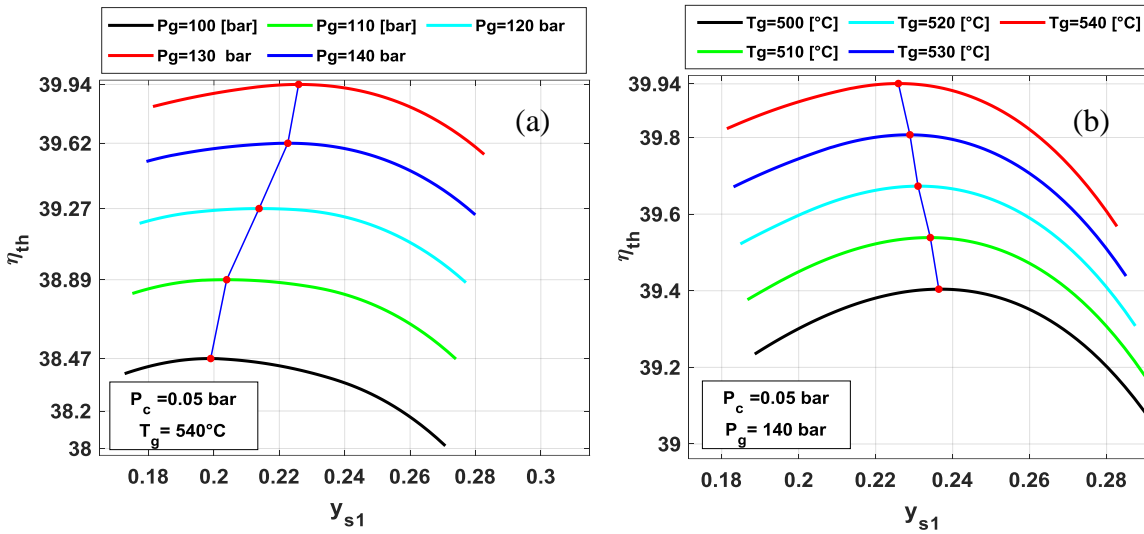


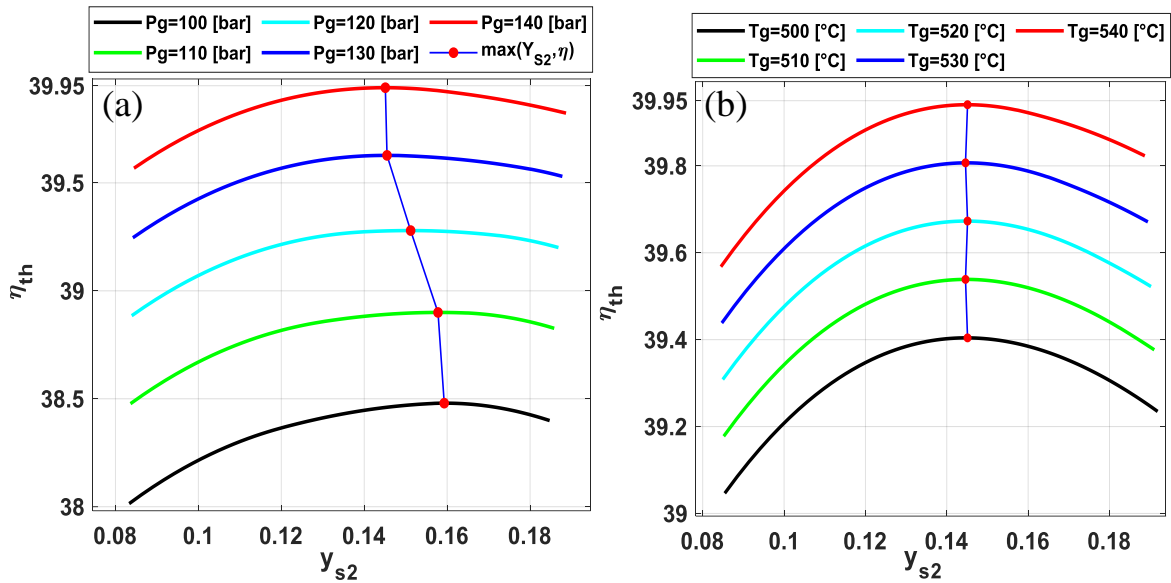
Figure 4.7 : les effets de fraction massique sur le rendement pour premier soutirage

Figure 4.7(a) : Cette figure montre l’effet de la fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  sur le rendement pour des valeurs de pression du générateur différentes ( $P_g = 112$ [bar] ;  $P_g = 110$ [bar] ;  $P_g = 120$ [bar] ;  $P_g = 130$ [bar] ;  $P_g = 140$ [bar]). Nous constatons une augmentation du rendement, pour atteindre un rendement optimal à chaque fois dans la plage de  $Y_{s1}$  de 0.2 à 0.22. Au-delà de cette plage le rendement tend à diminuer même si  $Y_{s1}$  augmente, et ce pour tous les cas des pressions du générateur.

Figure 4.7b) : Cette figure montre l’effet de la fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  sur le rendement pour des valeurs différentes de la température de génération. On constate que le rendement augmente pour tous les cas de  $T_g$  en fonction de la fraction massique soutirée  $Y_{s1}$ , pour atteindre des valeurs maximales dans la plage des valeurs de  $Y_{s1}$  de 0.22 à 0.24. Au-delà de cette valeur, le rendement du système diminue progressivement en augmentant  $Y_{s1}$  et ce quel que soit la température de génération

4.5.7. Les effets de fraction massique sur le rendement pour deuxième soutirage

La figure 4.8 illustre les effets de la fraction massique sur le rendement pour deuxième soutirage Dans le premier cas, En gardant la température de génération constante à 540 °C et en effectuant une augmentation de la pression de 112 bar à 140 bar. Pour le deuxième cas, la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de 512 °C à 540 °C



**Figure 4.8 : Les effets de fraction massique sur le rendement pour deuxième soutirage**

Figure 4.8a montre l'effet de la fraction massique soutirée  $Y_{s2}$  sur le rendement pour des valeurs de pression du générateur différentes ( $P_g = 112[\text{bar}] ; P_g = 110[\text{bar}] ; P_g = 120[\text{bar}] ;$

$P_g = 130[\text{bar}] ; P_g = 140[\text{bar}]$ ). Nous constatons une augmentation du rendement, pour atteindre un rendement optimal à chaque fois dans la plage de  $Y_{s2}$  de 0.14 à 0.16. Au-delà de cette plage le rendement tend à diminuer même si  $Y_{s2}$  augmente, et ce pour tous les cas des pressions du générateur.

Figure 4.8b montre l'effet de la fraction massique soutirée  $Y_{s2}$  sur le rendement pour des valeurs différentes de la température de génération ( $T_g = 512\text{ °C} ; 510\text{ °C} ; 520\text{ °C} ; 530\text{ °C} ; 540\text{ °C}$ ) ; on constate que le rendement augmente pour tous les cas de  $T_g$  en fonction de la fraction massique soutirée  $Y_{s2}$ , pour atteindre des valeurs maximales dans la plage des valeurs de  $Y_{s2}$  de 0.15. Au-delà de cette valeur, le rendement du système diminue progressivement en augmentant  $Y_{s2}$  et ce pour toutes les valeurs de la température de génération.

#### 4.5.8. Effet de la pression de soutirage sur le rendement pour le premier soutirage

La Figure 4.9 illustre les effets de pression de soutirage sur le rendement pour premier soutirage

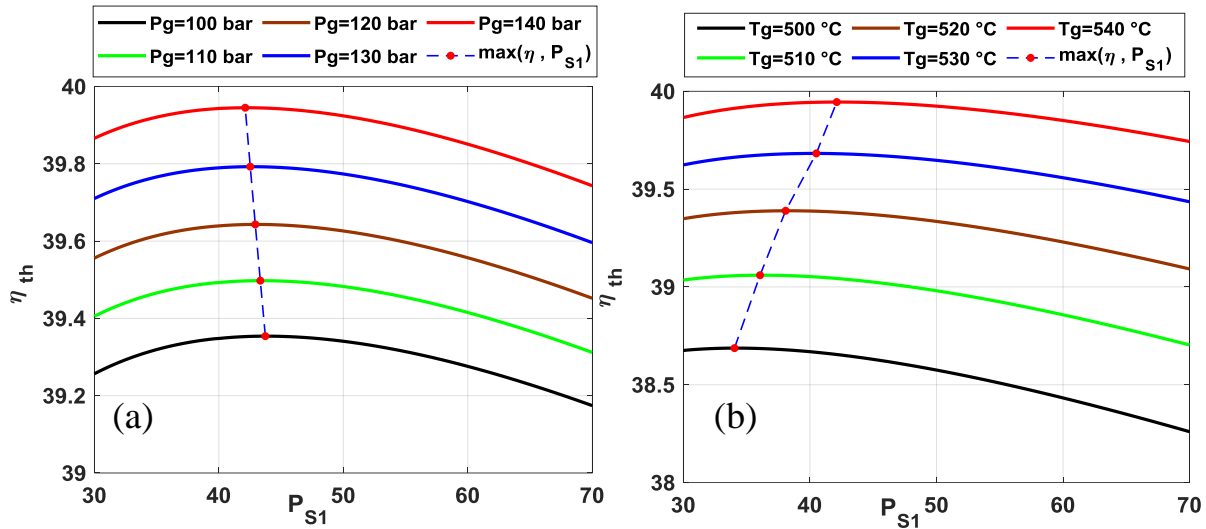


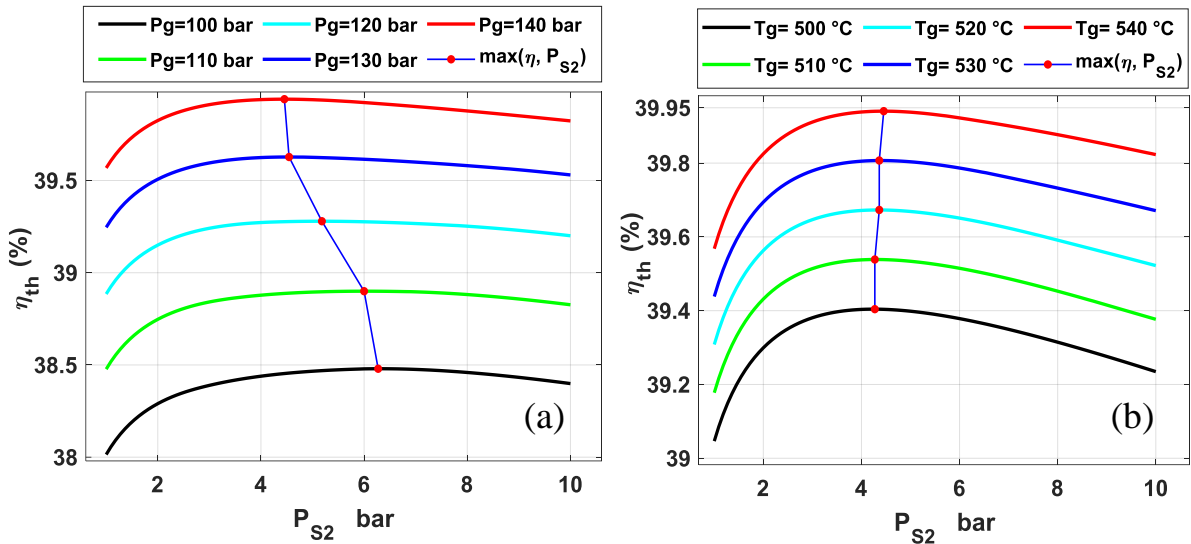
Figure 4.9 : Effet de la pression de soutirage sur le rendement pour premier soutirage

Figure 4.9a montre l'effet de la pression de soutirage  $P_{s1}$  sur le rendement pour des valeurs de pression du générateur différentes ( $P_g = 112$ [bar] ;  $P_g = 110$ [bar] ;  $P_g = 120$ [bar] ;  $P_g = 130$ [bar] ;  $P_g = 140$ [bar]). Nous constatons une augmentation du rendement, pour atteindre un rendement maximal dans la plage de  $P_{s1}$  de 40 à 45 [bar]. Au-delà de cette plage le rendement diminue même si  $P_{s1}$  augmente, et ce pour tous les cas des pressions du générateur.

Figure 4.9b montre l'effet de la pression de soutirage  $P_{s1}$  sur le rendement pour des valeurs différentes de la température de génération ( $T_g = 512$  °C ; 510 °C ; 520 °C ; 530 °C ; 540 °C). On constate que le rendement augmente pour tous les cas de  $T_g$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s1}$ , pour atteindre des valeurs maximales dans la plage des valeurs de  $P_{s1}$  égale à 30 [bar]. Au-delà de cette valeur, le rendement du système diminue progressivement en augmentant  $P_{s1}$  et ce pour toutes les valeurs de la température de génération.

#### 4.5.9. Les effets de pression de soutirage sur le rendement pour le deuxième soutirage

La figure 4.10 représente, les effets de pression de soutirage sur le rendement pour deuxième soutirage,



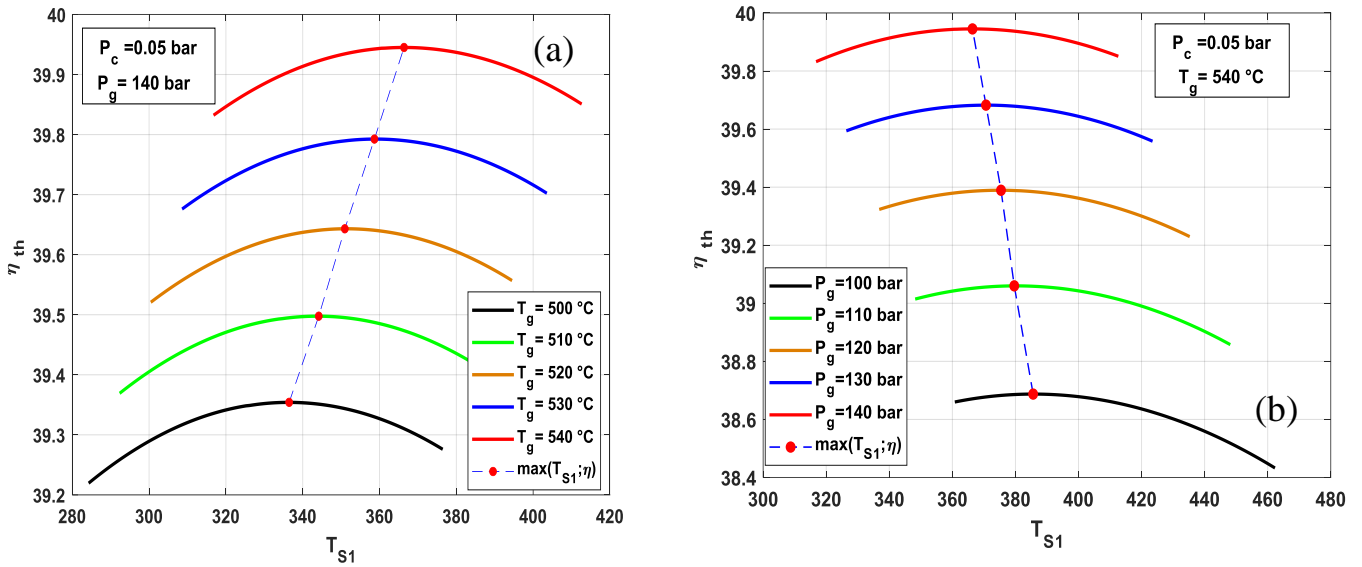
**Figure 4.10 : Les effets de pression de soutirage sur le rendement pour deuxième soutirage**

La Figure 4.10(a) montre l'effet de la pression de soutirage  $P_{s2}$  sur le rendement pour des valeurs de pression du générateur différentes ( $P_g = 112$ [bar] ;  $P_g = 110$ [bar] ;  $P_g = 120$ [bar] ;  $P_g = 130$ [bar] ;  $P_g = 140$ [bar]). Nous constatons une augmentation du rendement, pour atteindre un rendement maximal dans la plage de  $P_{s2}$  de 4 à 6 [bar]. Au-delà de cette plage le rendement diminue même si  $P_{s2}$  augmente, et ce pour tous les cas des pressions du générateur.

Figure 4.10(b) montre l'effet de la pression de soutirage  $P_{s2}$  sur le rendement pour des valeurs différentes de la température de génération ( $T_g= 512$  °C ;  $510$  °C ;  $520$  °C ;  $530$  °C ;  $540$  °C). On constate que le rendement augmente pour tous les cas de  $T_g$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s2}$ , pour atteindre des valeurs maximales dans la plage des valeurs de  $P_{s2}$  égale à 4.2 [bar]. Au-delà de cette valeur, le rendement du système diminue progressivement en augmentant  $P_{s2}$  et ce pour toutes les valeurs de la température de génération.

#### 4.5.10. Les effets de température de soutirage sur le rendement pour premier soutirage

La figure 4.11 représente, les effets de température de soutirage sur le rendement pour premier soutirage.



**Figure 4.11 : Effet de la température de soutirage sur le rendement pour premier soutirage**

Figure 4.11(a) montre l'effet de la température de soutirage  $T_{S1}$  sur le rendement pour des valeurs de pression du générateur différentes ( $P_g = 112[\text{bar}]$  ;  $P_g = 110[\text{bar}]$  ;  $P_g = 120[\text{bar}]$

$P_g = 130[\text{bar}]$  ;  $P_g = 140[\text{bar}]$ ). Nous constatons une augmentation du rendement, pour atteindre un rendement maximal dans la plage de  $T_{S1}$  de  $360^\circ\text{C}$  à  $390^\circ\text{C}$ . Au-delà de cette plage le rendement tend à diminuer même si  $T_{S1}$  augmente, et ce pour tous les cas des pressions du générateur.

La figure 4.11(b) illustre clairement l'importance de choisir la température de soutirage optimale pour maximiser le rendement thermique d'un système. Elle montre également que des températures de générateur de vapeur plus élevées améliorent le rendement, mais qu'il y a toujours une température de soutirage optimale spécifique pour chaque condition. Ces informations sont cruciales pour le design et l'optimisation des systèmes thermodynamiques afin d'atteindre des rendements énergétiques élevés.

#### 4.5.11. Effets de la température de soutirage sur le rendement pour le deuxième soutirage

La figure 4.12 représente les effets de température de soutirage sur le rendement pour deuxième soutirage.

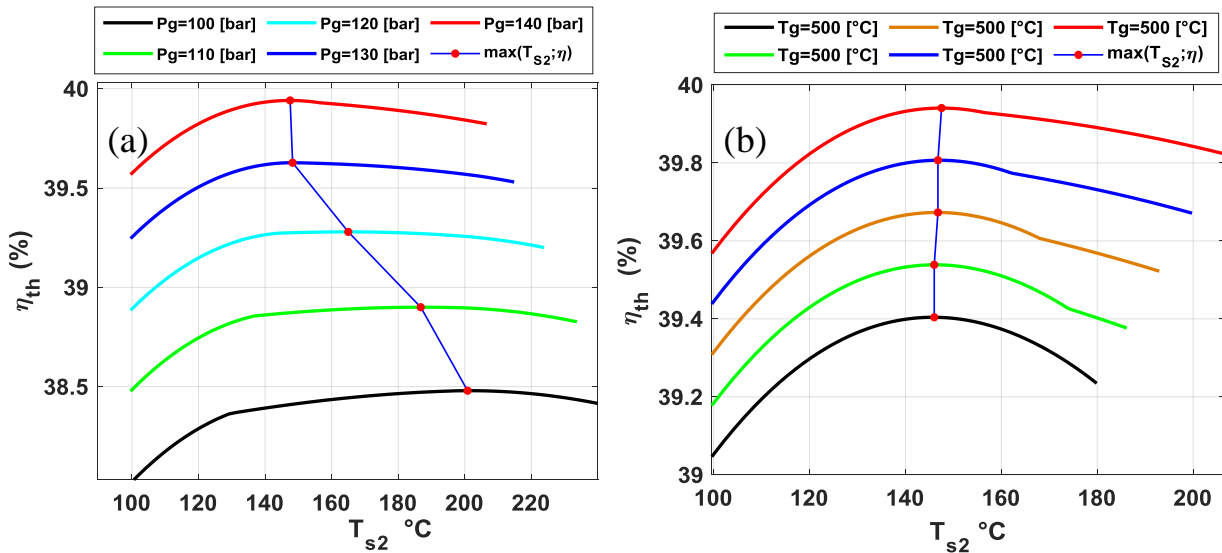


Figure 4.12 : Effet de la température de soutirage sur le rendement pour deuxième soutirage

La Figure 4.12(a) montre l'effet de la température de soutirage  $T_{s2}$  sur le rendement pour des valeurs de pression du générateur différentes ( $P_g = 112$ [bar] ;  $P_g = 110$ [bar] ;  $P_g = 120$ [bar] ;  $P_g = 130$ [bar] ;  $P_g = 140$ [bar]). Nous constatons une augmentation du rendement, pour atteindre un rendement maximal dans la plage de  $T_{s2}$  de 150 °C à 212°C. Au-delà de cette plage le rendement tend à diminuer même si  $T_{s2}$  augmente, et ce pour tous les cas des pressions du générateur.

La Figure 4.12(b) montre l'effet de la température de soutirage  $T_{s2}$  sur le rendement pour des valeurs différentes de la température de génération ( $T_g= 512$  °C ; 510 °C ; 520 °C ; 530 °C ; 540 °C) ; on constate que le rendement augmente pour tous les cas de  $T_g$  en fonction de la température de soutirage  $T_{s2}$ , pour atteindre des valeurs maximales dans la plage des valeurs de  $T_{s2}$  de l'ordre de 145°C. Au-delà de cette valeur, le rendement du système diminue progressivement en augmentant  $T_{s2}$  et ce pour toutes les valeurs de la température de génération. Cette figure montre l'effet de la température de soutirage  $T_{s1}$  sur le rendement pour des valeurs différentes de la température de génération ( $T_g= 512$  °C ; 510 °C ; 520 °C ; 530 °C ; 540 °C) ; on constate que le rendement augmente pour tous les cas de  $T_g$  en fonction de la température de soutirage  $T_{s1}$ , pour atteindre des valeurs maximales dans la plage des valeurs de  $T_{s1}$  de 330 °C à 370 °C. Au-delà de cette valeur, le rendement du système diminue progressivement en augmentant  $T_{s1}$  et ce pour toutes les valeurs de la température de génération.

4.5.11. Effets de la température de soutirage sur le rendement pour le deuxième soutirage

La figure 4.12 représente les effets de température de soutirage sur le rendement pour deuxième soutirage.

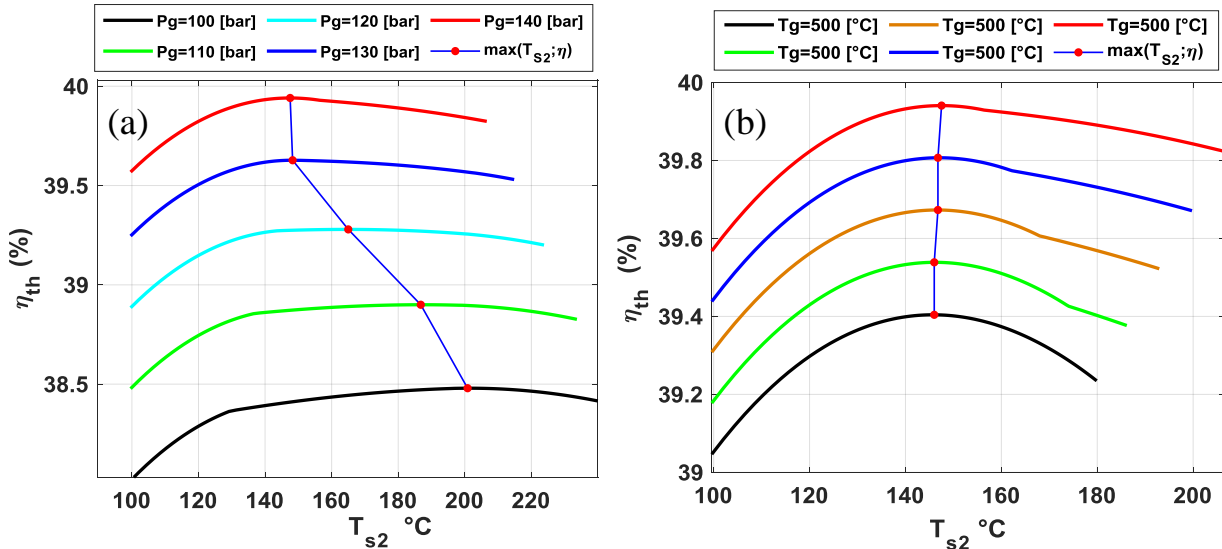


Figure 4.12 : Effet de la température de soutirage sur le rendement pour deuxième soutirage

La Figure 4.12(a) montre l’effet de la température de soutirage  $T_{s2}$  sur le rendement pour des valeurs de pression du générateur différentes ( $P_g = 112$ [bar] ;  $P_g = 110$ [bar] ;  $P_g = 120$ [bar] ;  $P_g = 130$ [bar] ;  $P_g = 140$ [bar]). Nous constatons une augmentation du rendement, pour atteindre un rendement maximal dans la plage de  $T_{s2}$  de 150 °C à 212°C. Au-delà de cette plage le rendement tend à diminuer même si  $T_{s2}$  augmente, et ce pour tous les cas des pressions du générateur.

La Figure 4.12(b) montre l’effet de la température de soutirage  $T_{s2}$  sur le rendement pour des valeurs différentes de la température de génération ( $T_g = 512$  °C ; 510 °C ; 520 °C ; 530 °C ; 540 °C) ; on constate que le rendement augmente pour tous les cas de  $T_g$  en fonction de la température de soutirage  $T_{s2}$ , pour atteindre des valeurs maximales dans la plage des valeurs de  $T_{s2}$  de l’ordre de 145°C. Au-delà de cette valeur, le rendement du système diminue progressivement en augmentant  $T_{s2}$  et ce pour toutes les valeurs de la température de génération. Cette figure montre l’effet de la température de soutirage  $T_{s1}$  sur le rendement pour des valeurs différentes de la température de génération ( $T_g = 512$  °C ; 510 °C ; 520 °C ; 530 °C ; 540 °C) ; on constate que le rendement augmente pour tous les cas de  $T_g$  en fonction de la température de soutirage  $T_{s1}$ , pour atteindre des valeurs maximales dans la plage des valeurs de  $T_{s1}$  de 330 °C à 370 °C. Au-delà de cette valeur, le rendement du système diminue progressivement en augmentant  $T_{s1}$  et ce pour toutes les valeurs de la température de génération.

4.5.12. Effet de pression de soutirage sur fraction massique soutirée pour premier soutirage

La figure 4.13 représente les effets de pression de soutirage sur fraction massique soutirée pour premier soutirage. Dans le premier cas, En gardant la température de génération constante à 540 °C et en effectuant une augmentation de la pression de 112 bar à 140 bar. Pour le deuxième cas, la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de 512 °C à 540 °C

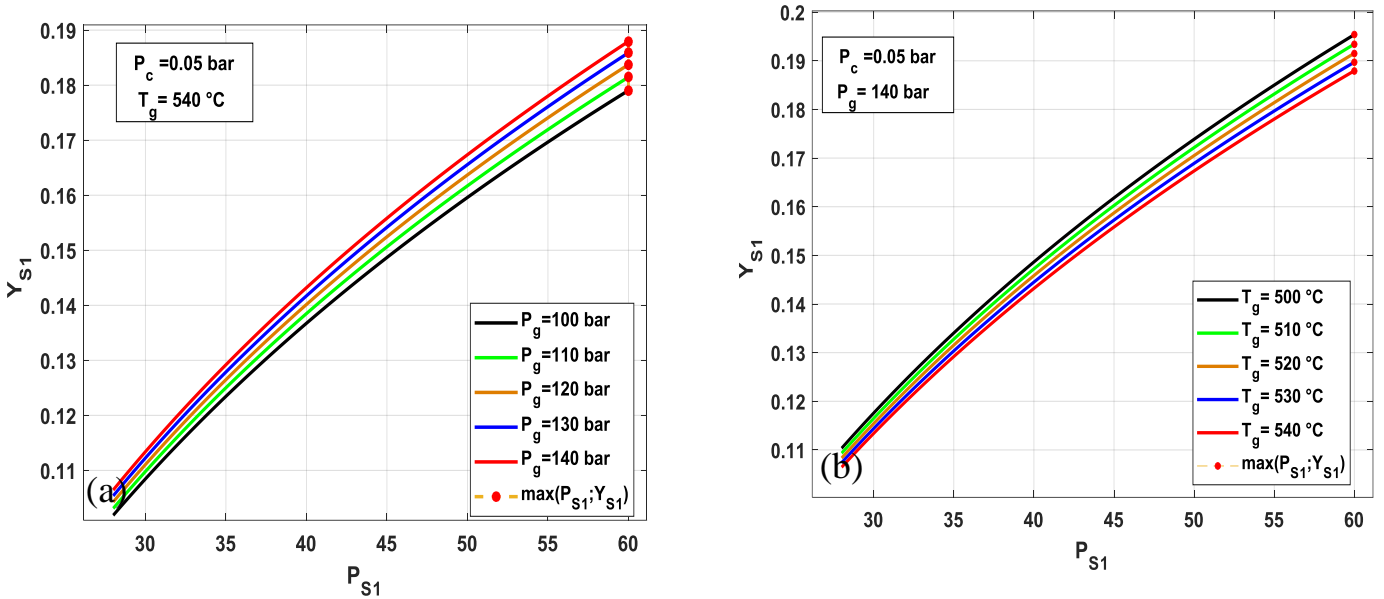


Figure 4.13 : Effet de pression de soutirage sur fraction massique pour premier soutirage

Figure 4.13a montre l'évolution quasi linéaire continue de la fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  en fonction de la pression du premier soutirage  $P_{s1}$  pour des valeurs de pression du générateur différentes ( $P_g = 112$ [bar] ;  $P_g = 110$ [bar] ;  $P_g = 120$ [bar] ;  $P_g = 130$ [bar] ;  $P_g = 140$ [bar]). On constate que la fraction massique  $Y_{s1}$  atteint des valeurs maximales de l'ordre de 0.18 jusqu'à 0.19 pour une valeur de  $P_{s1}=60$  [bar].

Figure 4.13b montre l'évolution de la fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  en fonction de la pression du premier soutirage  $P_{s1}$  et ce pour des valeurs différentes de la température de génération ( $T_g= 512$  °C ; 510 °C ; 520 °C ; 530 °C ; 540 °C). On constate une évolution quasi-linéaire de la fraction massique soutiré  $Y_{s1}$  en fonction de l'augmentation de la pression de soutirage  $P_{s1}$ , pour atteindre des valeurs maximales de  $Y_{s1} = 19$  pour  $P_{s1} = 60$  [bar].

4.5.13. Les effets de pression de soutirage sur fraction massique  $Y_{s2}$

La figure 4.14 représente les effets de pression de soutirage sur fraction massique soutirée pour deuxième soutirage , Dans le premier cas, En gardant la température de génération constante à 540 °C

et en effectuant une augmentation de la pression de 112 bar à 140 bar. Pour le deuxième cas, la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de 512 °C à 540 °C

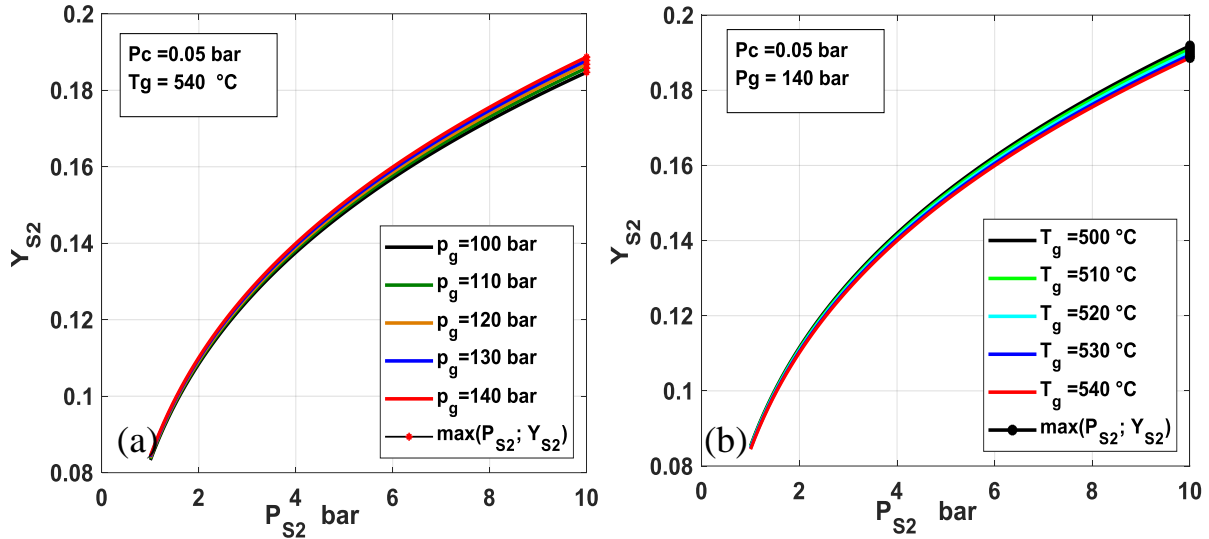


Figure 4.14 : Effet de pression de soutirage sur fraction massique  $Y_{S2}$  pour deuxième soutirage

Figure 4.14a montre l'évolution quasi linéaire continue de la fraction massique soutirée  $Y_{S2}$  en fonction de la pression du deuxième soutirage  $P_{S2}$  pour des valeurs de pression du générateur différentes ( $P_g = 112$ [bar] ;  $P_g = 110$ [bar] ;  $P_g = 120$ [bar] ;  $P_g = 130$ [bar] ;  $P_g = 140$ [bar]).

On constate que la fraction massique  $Y_{S2}$  atteint des valeurs maximales de l'ordre de 0.185 pour une valeur de  $P_{S2} = 10$  [bar].

Figure 4.14b montre l'évolution de la fraction massique soutirée  $Y_{S2}$  en fonction de la pression du deuxième soutirage  $P_{S2}$  et ce pour des valeurs différentes de la température de génération ( $T_g = 512$  °C ; 510 °C ; 520 °C ; 530 °C ; 540 °C). On constate une évolution quasi-linéaire de la fraction massique soutiré  $Y_{S2}$  en fonction de l'augmentation de la pression de soutirage  $P_{S2}$ , pour atteindre des valeurs maximales de  $Y_{S2} = 19$  pour  $P_{S2} = 10$  [bar].

4.5.14. Les effets de pression de soutirage sur température de soutirage pour premier soutirage

La figure 4.15 représente Les effets de pression de soutirage sur température de soutirage pour premier soutirage.

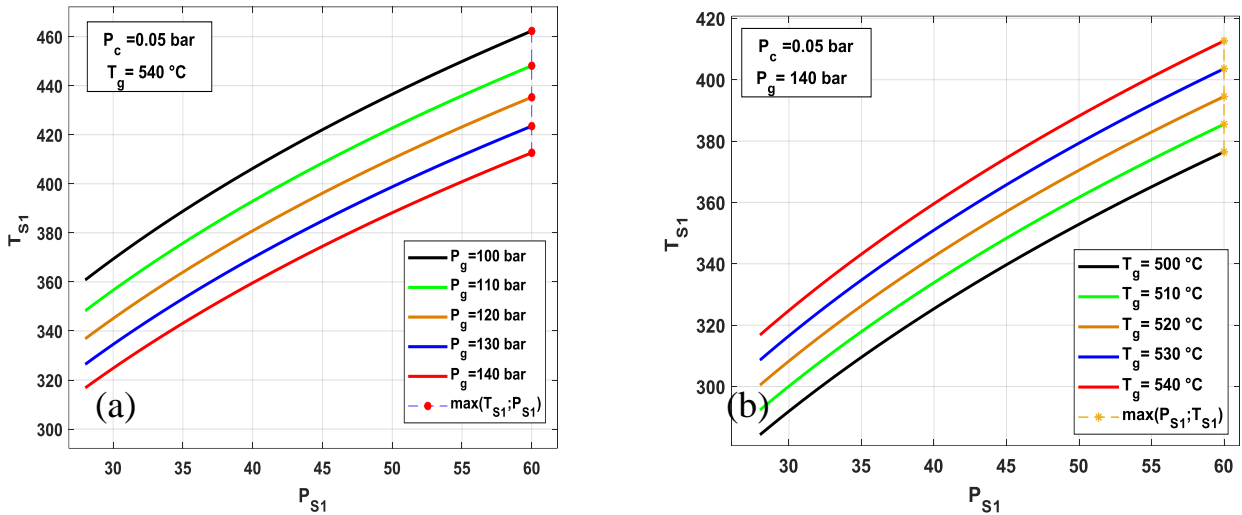


Figure 4.15 :Effet de pression de soutirage sur température de soutirage pour premier soutirage

La figure 4.15(a) montre l'évolution de la température de soutirage  $T_{s1}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s1}$  et ce pour des valeurs de pression du générateur différentes ( $P_g = 112$ [bar] ;  $P_g = 110$ [bar] ;  $P_g = 120$ [bar] ;  $P_g = 130$ [bar] ;  $P_g = 140$ [bar]). On constate une évolution quasi linéaire continue de la température de soutirage  $T_{s1}$  en fonction de la pression du premier soutirage  $P_{s1}$ . La valeur maximale  $T_{s1} = 460$  °C est obtenue pour  $P_{s1} = 60$  [bar] dans le cas de la pression de génération  $P_g = 112$  [bar].

La figure 4.15(b) montre l'évolution de la température de soutirage  $T_{s1}$  en fonction de la pression du premier soutirage  $P_{s1}$  et ce pour des valeurs différentes de la température de génération ( $T_g = 512$  °C ;  $510$  °C ;  $520$  °C ;  $530$  °C ;  $540$  °C). On constate une évolution quasi-linéaire de la température  $T_{s1}$  en fonction de l'augmentation de la pression de soutirage  $P_{s1}$ . La valeur maximale  $T_{s1} = 415$  °C est obtenue pour  $P_{s1} = 60$  [bar] dans le cas de la température de génération  $T_g = 540$  °C

4.5.15. Les effets de pression de soutirage sur température de soutirage pour deuxième soutirage

La figure 4.16 représente les effets de pression de soutirage sur température de soutirage pour deuxième soutirage.

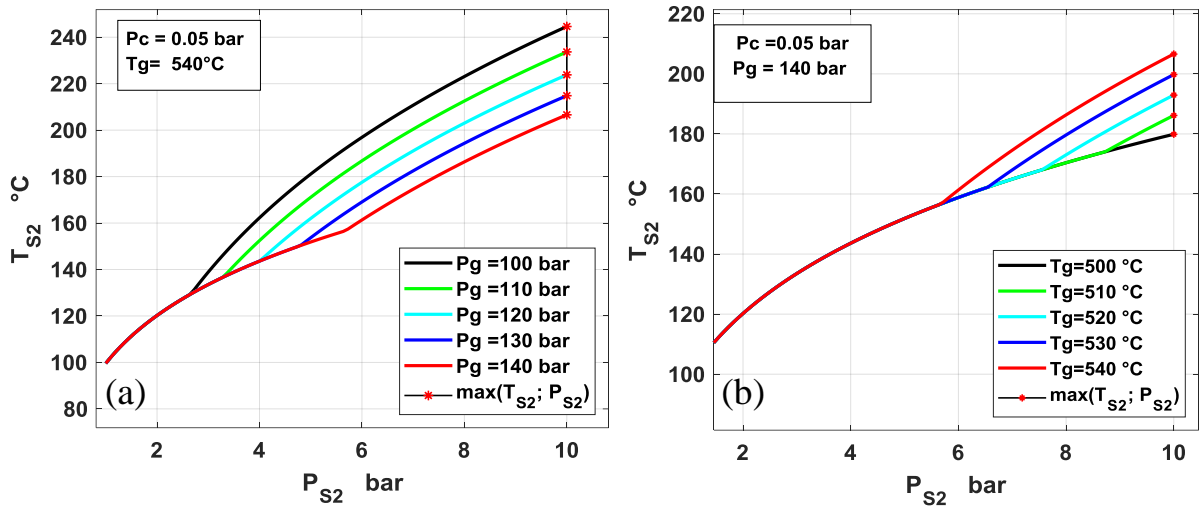


Figure 4. 16 : effets de pression de soutirage sur température de soutirage pour deuxième soutirage

La figure 4.16 (a) montre l'évolution de la température de soutirage  $T_{s2}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s2}$  et ce pour des valeurs de pression du générateur différentes ( $P_g = 112[\text{bar}]$  ;  $P_g = 110[\text{bar}]$  ;  $P_g = 120[\text{bar}]$  ;  $P_g = 130[\text{bar}]$  ;  $P_g = 140[\text{bar}]$ ). On constate une évolution quasi linéaire continue de la température de soutirage  $T_{s2}$  en fonction de la pression du deuxième soutirage  $P_{s2}$ . La valeur maximale  $T_{s2} = 240^\circ\text{C}$  est obtenue pour  $P_{s2} = 10 [\text{bar}]$  dans le cas de la pression de génération  $P_g = 112 [\text{bar}]$ .

La figure 4.16 (b) montre l'évolution de la température de soutirage  $T_{s2}$  en fonction de la pression du deuxième soutirage  $P_{s2}$  et ce pour des valeurs différentes de la température de génération ( $T_g = 512^\circ\text{C}$  ;  $510^\circ\text{C}$  ;  $520^\circ\text{C}$  ;  $530^\circ\text{C}$  ;  $540^\circ\text{C}$ ). On constate une évolution quasi-linéaire de la température  $T_{s2}$  en fonction de l'augmentation de la pression de soutirage  $P_{s2}$ . La valeur maximale  $T_{s2} = 205^\circ\text{C}$  est obtenue pour  $P_{s2} = 10 [\text{bar}]$  dans le cas de la température de génération  $T_g = 540^\circ\text{C}$ .

## 4.6 Les résultats d'optimisation

### 4.6.1. Variation du rendement en fonction des variables $P_g$ et $T_g$

La figure 4.17 représente la variation de rendement en fonction de la température  $T_g$  et de la pression  $P_g$  du générateur de vapeur.

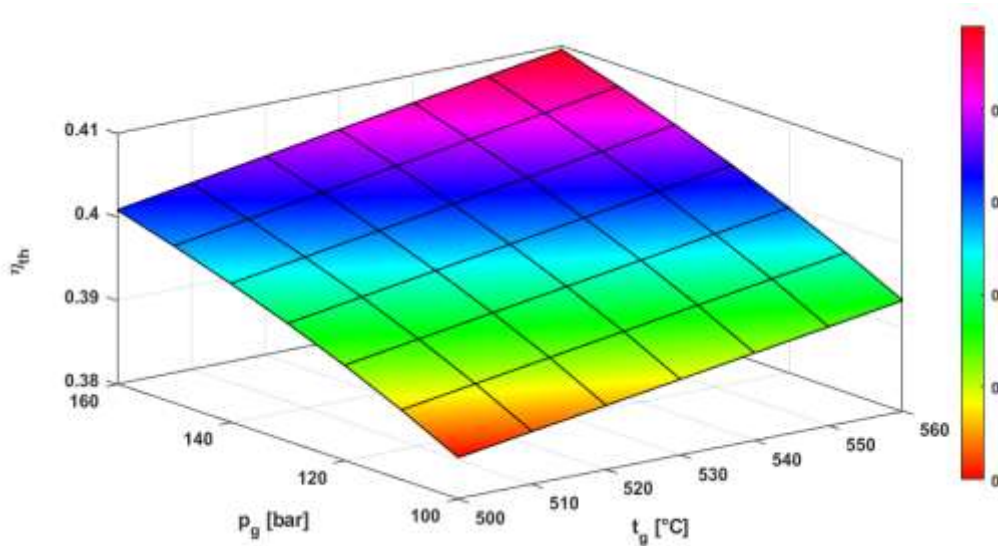


Figure 4.17 : Variation du rendement en fonction des variables  $P_g$  et  $T_g$

La figure analyse la relation entre le rendement et les paramètres de pression ( $P_g$ ) et de température ( $T_g$ ) du générateur. Elle démontre que le rendement croît de façon linéaire avec  $P_g$ , indiquant une amélioration proportionnelle avec une pression plus élevée. Cependant, une augmentation de  $T_g$  diminue le rendement, probablement à cause de pertes thermiques croissantes. Ces liens peuvent être modélisés mathématiquement par des équations linéaires ou quadratiques. En soulignant l'importance d'une pression optimale du générateur pour maximiser le rendement et de la nécessité de contrôler la température pour éviter les pertes thermiques excessives, la figure met en lumière l'impact sur l'efficacité globale du système

### 4.6.2. Variation de la pression de soutirage $P_{S1}$ en fonction des variables $P_g$ et $T_g$ .

La figure 4.18 illustre comment la pression de soutirage  $P_{S1}$  varie en fonction des paramètres de pression  $P_g$  et de température  $T_g$  du générateur de vapeur.

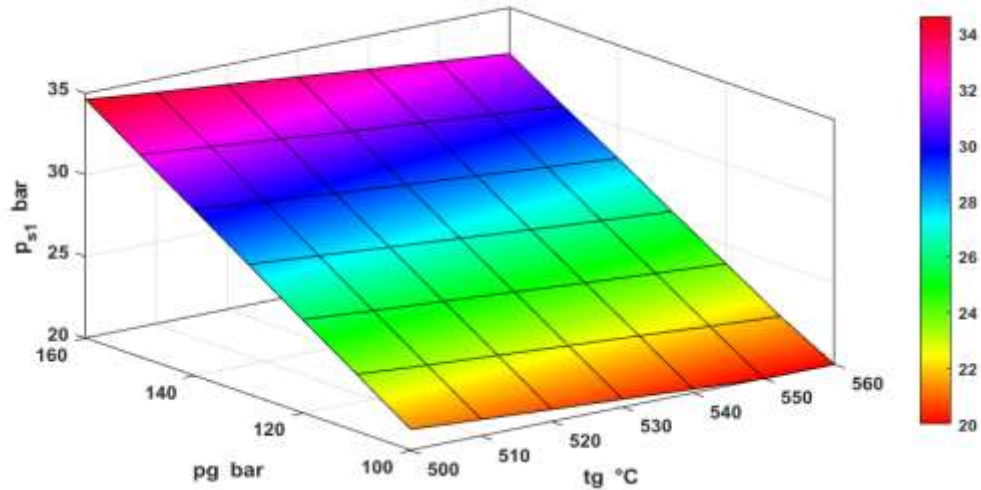


Figure 4.18: Variation de la pression de soutirage  $P_{s1}$  en fonction des variables  $P_g$  et  $T_g$  .

On remarque Une augmentation de la pression de générateur  $P_g$  entraîne une augmentation linéaire de  $P_{s1}$  Cela signifie que  $P_{s1}$  augmente proportionnellement avec la pression de générateur. Des pressions de générateur plus élevées entraînent donc des pressions de soutirage  $P_{s1}$  plus élevées.  $P_{s1}$  diminue à mesure que  $T_g$  augmente. Cela suggère une relation inverse entre  $P_{s1}$  et la température de générateur  $T_g$ . À des températures de générateur plus élevées,  $P_{s1}$  est plus basse.

#### 4.6.3. Variation de la pression de soutirage $P_{s2}$ en fonction des variables $P_g$ et $T_g$ .

La figure 4.19 représente la variation de pression de soutirage  $P_{s2}$  en fonction des paramètres de pression  $P_g$  et de température  $T_g$  du générateur de vapeur.

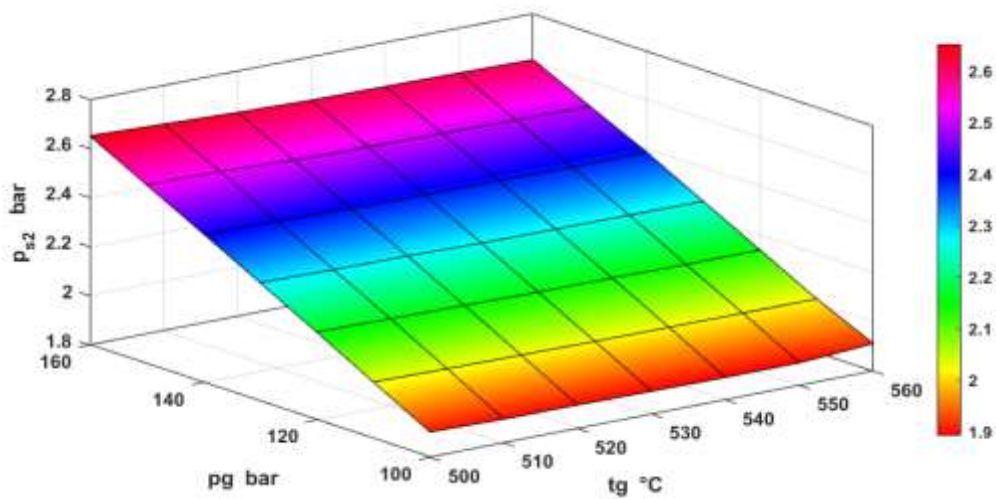


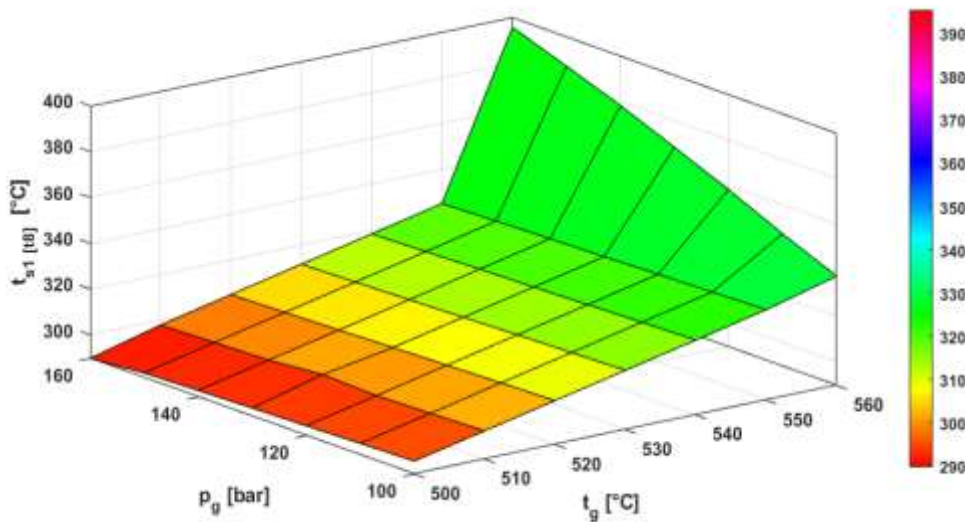
Figure 4.19: Variation de la pression de soutirage  $P_{s2}$  en fonction des variables  $P_g$  et  $T_g$

Cette figure montre l'augmentation de la deuxième pression de soutirage ( $P_{s2}$ ) en fonction de la pression de générateur de vapeur ( $P_g$ ) et de la température de soutirage ( $T_g$ ).  $P_{s2}$  augmente de 1.9 à 2.6 à mesure que  $P_g$  et  $T_g$  augmentent, atteignant des valeurs maximales lorsque  $P_g$  et  $T_g$  sont à leurs valeurs maximales respectives.

L'augmentation de  $P_{s2}$  avec  $P_g$  et  $T_g$  souligne l'importance de maintenir des pressions de générateur de vapeur et des températures de soutirage élevées pour optimiser la récupération de chaleur. Cela peut être un élément clé pour maximiser l'efficacité énergétique globale du système.

**4.6.4. Variation de la température de soutirage  $T_{s1}$  en fonction des variables  $P_g$  et  $T_g$**

La figure 4.20 représente la variation de température de soutirage  $T_{s1}$  en fonction des paramètres de pression  $P_g$  et de température  $T_g$  du générateur de vapeur.



**Figure 4.20: Variation de la température de soutirage  $T_{s1}$  en fonction des  $P_g$  et  $T_g$**

La température de soutirage  $T_{s1}$  augmente de manière linéaire avec  $P_g$ . Cela signifie que  $T_{s1}$  augmente proportionnellement avec la pression de générateur. Des pressions de générateur plus élevées favorisent des températures de soutirage  $T_{s1}$  plus élevées.

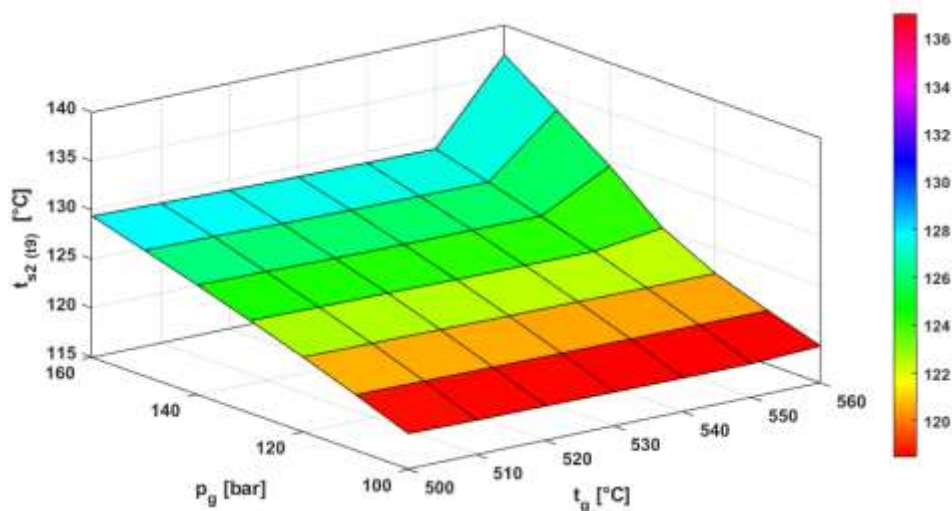
La température de soutirage  $T_{s1}$  diminue de manière linéaire avec  $T_g$ . Cette relation suggère une relation inverse entre  $T_{s1}$  et la température de générateur  $T_g$ . Des températures de générateur plus élevées conduisent à des  $T_{s1}$  plus basses.

Cette figure met en évidence l'impact significatif de la pression et de la température de générateur sur la température de soutirage  $T_{s1}$ . Des pressions de générateur plus élevées favorisent des  $T_{s1}$  plus élevées, tandis que des températures de générateur plus élevées conduisent à des  $T_{s1}$  plus basses.

L'ajustement des paramètres de pression de générateur  $P_g$  et de température de générateur  $T_g$  peut être utilisé pour contrôler la température de soutirage  $T_{s1}$ . Des pressions de générateur plus élevées favorisent des  $T_{s1}$  plus élevées, tandis que des températures de générateur plus élevées conduisent à des  $T_{s1}$  plus basses. Ces résultats sont essentiels pour optimiser le processus et atteindre les objectifs de température de soutirage spécifiques.

### 4.6.5. Variation de la température de soutirage $T_{s2}$ en fonction des variables $P_g$ et $T_g$

La figure 4.21 représente la variation de température de soutirage  $T_{s2}$  en fonction de la température  $T_g$ , pression  $P_g$  du générateur de vapeur



**Figure 4.21 : Variation de la température de soutirage  $T_{s2}$  en fonction des variables  $P_g$  et  $T_g$**

Dans cette figure, on observe la variation de la température de soutirage ( $T_{s2}$ ) en fonction des paramètres de pression du générateur ( $P_g$ ) et de température du générateur ( $T_g$ ). Elle fournit des informations cruciales sur la sensibilité de  $T_{s2}$  à ces deux variables.

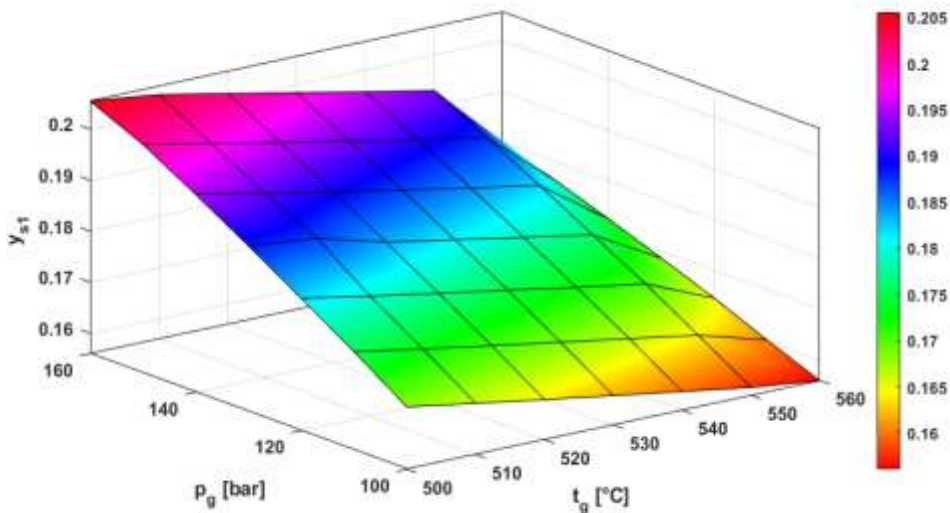
La température de soutirage  $T_{s2}$  augmente de manière linéaire avec  $P_g$ , montrant une augmentation proportionnelle avec la pression du générateur. Des pressions plus élevées favorisent des températures de soutirage plus élevées.

À l'inverse,  $T_{s2}$  diminue linéairement avec  $T_g$ , suggérant une relation inverse entre  $T_{s2}$  et la température du générateur. Des températures de générateur plus élevées entraînent des  $T_{s2}$  plus basses.

Cette figure souligne l'impact significatif de la pression et de la température du générateur sur Ts2. Les pressions plus élevées favorisent des Ts2 plus élevées, tandis que des températures de générateur plus élevées conduisent à des Ts2 plus basses.

**4.6.6. Variation de fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  en fonction des variables  $P_g$  et  $T_g$**

La figure 4.22 représente la variation de fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  en fonction de la température  $T_g$ , pression  $P_g$  du générateur de vapeur



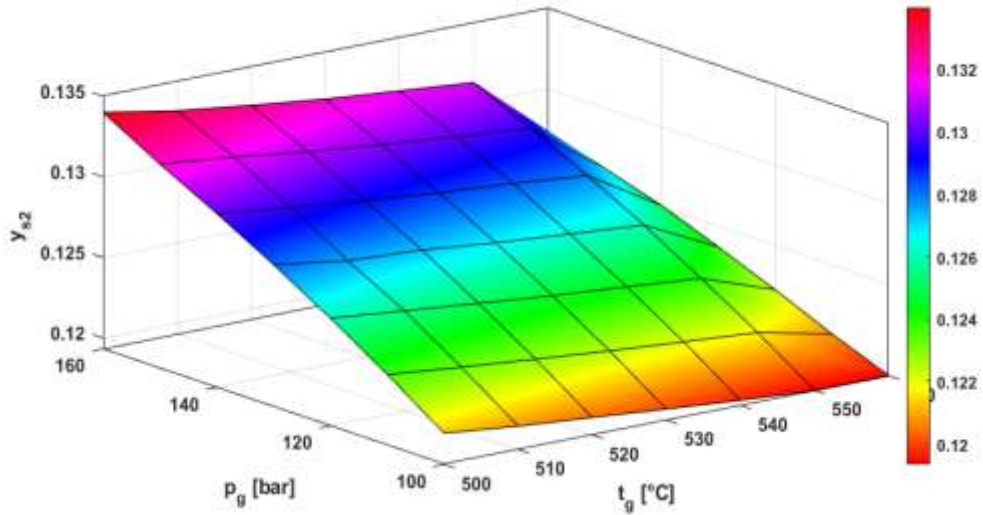
**Figure 4.22 : Variation de fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  en fonction des variables  $P_g$  et  $T_g$**

La fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  augmente de manière linéaire avec  $P_g$ , montrant ainsi une augmentation proportionnelle avec la pression du générateur. Des pressions plus élevées favorisent une fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  plus importante.

À l'inverse,  $Y_{s1}$  diminue à mesure que  $T_g$  augmente. Cette relation suggère une relation inverse entre  $Y_{s1}$  et la température du générateur. Des températures de générateur plus élevées conduisent à des  $Y_{s1}$  plus basses. Cette figure souligne l'impact significatif de la pression et de la température du générateur sur la fraction massique soutirée  $Y_{s1}$ . Les pressions plus élevées favorisent une  $Y_{s1}$  plus importante, tandis que des températures de générateur plus élevées conduisent à des  $Y_{s1}$  plus basses.

**4.6.7. Variation de fraction massique soutirée  $Y_{s2}$  en fonction des variables  $P_g$  et  $T_g$**

La figure 4.23 montre comment la fraction massique soutirée  $Y_{s2}$  évolue de en fonction des paramètres de pression  $P_g$  et de température  $T_g$  du générateur de vapeur.



**Figure 4.23 : Variation de fraction massique soutirée  $Y_{s2}$  en fonction des variables  $P_g$  et  $T_g$**

Cette figure présente la variation de la deuxième fraction massique soutirée,  $Y_{s2}$ , en fonction des paramètres de pression du générateur ( $P_g$ ) et de la température du générateur ( $T_g$ ). Elle offre des informations cruciales sur la sensibilité de  $Y_{s2}$  à ces variables.

Une augmentation de la pression de générateur  $P_g$  entraîne une diminution linéaire de  $Y_{s2}$ . Cela suggère que  $Y_{s2}$  diminue proportionnellement à l'augmentation de la pression du générateur. Ainsi, des pressions plus élevées peuvent réduire la fraction massique soutirée  $Y_{s2}$ .

En revanche, une augmentation de la température de générateur  $T_g$  conduit à une augmentation linéaire de  $Y_{s2}$ . Cette relation indique que  $Y_{s2}$  augmente proportionnellement avec la température du générateur, ce qui suggère que des températures de générateur plus élevées favorisent une fraction massique soutirée plus importante.

Cette figure met en lumière l'impact significatif de la pression et de la température du générateur sur la fraction massique soutirée  $Y_{s2}$ . Les pressions de générateur plus élevées réduisent  $Y_{s2}$ , tandis que des températures de générateur plus élevées favorisent une fraction massique soutirée plus importante.

### 4.7 Conclusion

L'installation d'un cycle de turbine à vapeur avec deux soutirages et deux mélangeurs constitue une avancée notable dans le domaine de la production d'énergie thermique. Ce type de configuration offre des avantages significatifs en matière d'efficacité énergétique et de flexibilité opérationnelle.

L'ajout de deux soutirages et deux mélangeurs permet de tirer le meilleur parti de la vapeur à différentes températures et pressions, optimisant ainsi le rendement global de la turbine. Cette approche offre une utilisation plus efficace de la chaleur disponible, ce qui se traduit par une production d'énergie accrue tout en minimisant les pertes thermiques.

De plus, cette configuration permet également d'adapter l'installation aux fluctuations de la demande énergétique, ce qui la rend plus flexible et réactive aux besoins du réseau électrique. Cela peut contribuer à stabiliser la production d'électricité et à répondre rapidement aux variations de charge, améliorant ainsi la fiabilité de l'ensemble du système.

En résumé, l'installation d'un cycle de turbine à vapeur avec deux soutirages et deux mélangeurs offre des avantages notables en termes d'efficacité énergétique, de flexibilité opérationnelle et de réponse aux variations de la demande énergétique. Elle représente une solution avancée pour la production d'énergie thermique, adaptée aux besoins modernes en matière de durabilité et de performance



---

## **Chapitre V**

**Installation avec deux soutirages et deux mélangeurs et deux turbines (Haut et Basse de pression).**

---



# Chapitre V

## Installation avec deux soutirages et deux mélangeurs et deux turbines (Haut et Basse de pression).

### 5 Chapitre V : Installation avec deux soutirages et deux mélangeurs.

#### 5.1 Description de Schéma d'installation.

Le schéma ci-dessous illustre la configuration d'une installation de turbine à vapeur avec deux soutirages, deux mélangeurs pour les turbines (haute et basse pression).

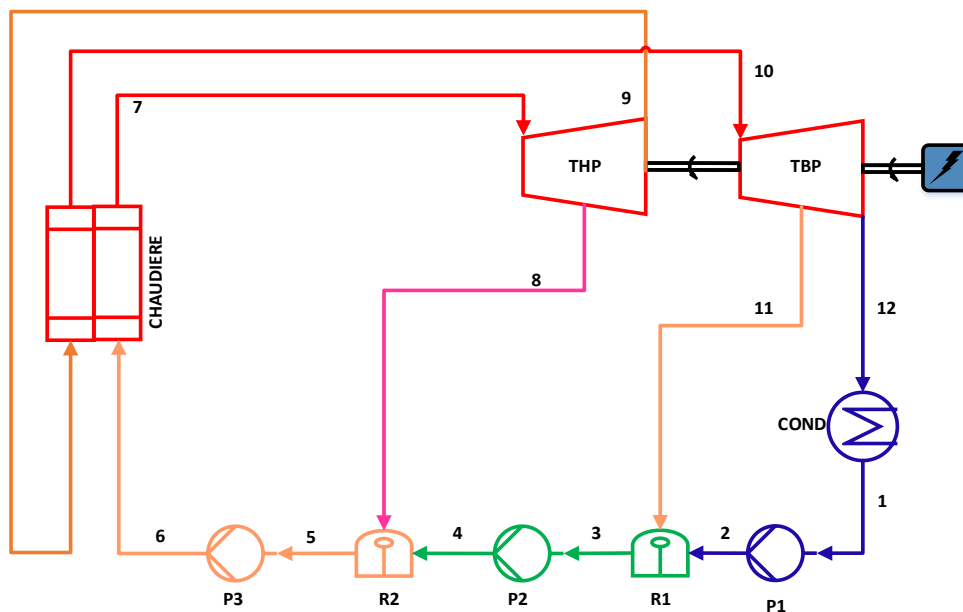


Figure 5.1 : Installation avec deux soutirages et deux mélangeurs.

Ce schéma illustre le processus de production d'électricité à partir de la vapeur d'eau. Initialement, de l'eau liquide est introduite dans une pompe afin d'augmenter la pression de basse pression (BP) à la pression de soutirage notée comme "pression de point 11" en référence à un point spécifique dans le système. Ensuite, cette eau liquide est mélangée avec la vapeur soutirée dans un mélangeur, et ce processus se poursuit jusqu'à ce que le mélange atteigne l'état de liquide saturé.

À ce stade, le liquide est acheminé vers une deuxième pompe, qui augmente la pression jusqu'à atteindre la pression de soutirage (identifiée comme "pression de point 08"). Un autre mélange se produit dans un deuxième mélangeur, où la troisième pompe intervient pour augmenter la pression jusqu'à atteindre la pression du générateur de vapeur.

Ce processus décrit comment l'eau est préparée et pressurisée de manière progressive avant d'entrer dans le générateur de vapeur, où elle sera chauffée pour produire de la vapeur à haute pression. Cette vapeur à haute pression est ensuite acheminée vers une turbine pour générer de l'électricité, tandis que le condenseur et d'autres composants sont responsables du recyclage et du refroidissement de la vapeur après son passage dans la turbine.

**5.2 Etude thermodynamique.**

Dans cette configuration, nous avons effectué une étude approfondie des bilans massique et énergétique liés à ce cycle

**5.2.1. Les pompes**

Le tableau ci-dessous montre Bilans massiques et énergétiques les trois pompe

Bilan	Massique	Energétique
1	$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_p$	$\dot{W}_{p1} = \dot{m}_p (h_2 - h_1 )$
2	$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m} - \dot{m}_{s1}$	$\dot{W}_{p2} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_4 - h_3 )$
3	$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 = \dot{m}$	$\dot{W}_{p3} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_6 - h_5 )$

**Tableau 4.1 : Bilans Massiques et Énergétiques des Pompes**

- L'équation de rendement pour les trois pompes

$$W_{is} = \dot{m} \int v dp \tag{5.1}$$

$$\eta_p = \frac{W_{is}}{W_r} \tag{5.2}$$

$$W_r = \frac{W_{is}}{\eta_p} = \dot{m} \int v dp / \eta_p \tag{5.3}$$

- Pour les deux pompes le rendement  $\eta_p = 65\%$

### 5.2.2 Réchauffeur par mélangeur

► Pour 1<sup>er</sup> Réchauffeur (2-3) :

► Le bilan de masse de la premier Réchauffeur s'écrit :

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_p \quad \dot{m}_3 = \dot{m} - \dot{m}_{s1} \quad , \quad \dot{m}_{11} = \dot{m}_{s2} \quad (5.4)$$

► Le bilan d'énergie :

$$\dot{m}_p h_2 + \dot{m}_{s11} h_{11} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) h_3 \quad (5.5)$$

$$y_2 = \frac{(\dot{h}_3 - \dot{h}_2)(1 - y_1)}{(\dot{h}_{11} - \dot{h}_2)} \quad (5.6)$$

► Pour 2<sup>ème</sup> Réchauffeur (4-5) :

► Le bilan de masse de la deuxième Réchauffeur s'écrit :

$$\dot{m}_4 = \dot{m} - \dot{m}_{s1} \quad \dot{m}_5 = \dot{m} \quad , \quad \dot{m}_8 = \dot{m}_{s1} \quad (5.7)$$

► Le bilan d'énergie :

$$(\dot{m} - \dot{m}_{s1}) h_4 + \dot{m}_{s1} h_8 = \dot{m} h_5 \quad (5.8)$$

$$y = \frac{(\dot{h}_5 - \dot{h}_4)}{(\dot{h}_8 - \dot{h}_4)} \quad (5.9)$$

### 5.2.3 La chaudière

► Le bilan de masse de la chaudière : s'écrit :

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_6 = \dot{m} \quad \dot{m}_9 = \dot{m}_{10} = \dot{m} - \dot{m}_{s1} \quad (5.10)$$

► Le bilan d'énergie :

$$\dot{m} h_6 + \dot{Q}_C + (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) h_9 = \dot{m} h_7 + (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) h_{10} \quad (5.11)$$

► D'où la chaleur consommée par la chaudière est calculée par :

$$\dot{Q}_C = \dot{m} (h_7 - h_6) + (h_{10} - h_9) (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) \quad (5.12)$$

► Le rendement de chambre de combustion s'écrit :

$$\zeta_{cc} = \frac{Q_{cc}}{\dot{m} \text{ PCI}} \quad (5.13)$$

Avec le rendement de chambre de combustion  $\eta_{cc} = 95 \%$

#### 4.2.4 Turbine

► **Turbine : (HP)**

Le bilan de massique :

$$\dot{m}_7 = \dot{m} \quad , \dot{m}_8 = \dot{m}_{s1} \quad , \dot{m}_9 = \dot{m} - \dot{m}_{s1} \quad (5.14)$$

Le bilan d'énergie :

$$\dot{W}_{HP} = \dot{W}_{t1} + \dot{W}_{t2} \quad (5.15)$$

$$\dot{W}_{t1} = \dot{m} (h_7 - h_8) \quad (5.16)$$

$$\dot{W}_{t2} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_8 - h_9) \quad (5.17)$$

$$\dot{W}_{HP} = \dot{m} (h_7 - h_8) + (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_8 - h_9) \quad (5.18)$$

► **Turbine (BP)**

► Le bilan de massique :

$$\dot{m}_{10} = \dot{m} - \dot{m}_{s1} \quad , \dot{m}_{11} = \dot{m}_{s2} \quad , \dot{m}_{12} = \dot{m}_{s2} \quad (5.19)$$

► Le bilan d'énergie :

$$\dot{W}_T = \dot{W}_{t1} + \dot{W}_{t2} \quad (5.20)$$

$$\dot{W}_{t1} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_{10} - h_{11}) \quad (5.21)$$

$$\dot{W}_{t2} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2}) (h_{11} - h_{12}) \quad (5.22)$$

$$\dot{W}_{BP} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_{10} - h_{11}) + (\dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2}) (h_{11} - h_{12}) \quad (5.22)$$

► Le rendement de la turbine à vapeur

$$\eta_p = \frac{W_r}{W_{is}} \quad (5.23)$$

$$W_r = W_{is} \eta_p \quad (5.24)$$

Avec le rendement de la turbine à vapeur  $\eta_t = 90 \%$

### 5.2.5. Condenseur

- ▶ Le bilan de massique

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{12} = \dot{m}_p \quad (5.25)$$

- ▶ Le bilan d'énergie :

$$\dot{m}_p h_{10} = \dot{Q}_{cd} + \dot{m}_p h_1 \quad (5.26)$$

$$\dot{Q}_{cd} = \dot{m}_p (h_{12} - h_1) \quad (5.27)$$

## 5.3 Performance de cycle

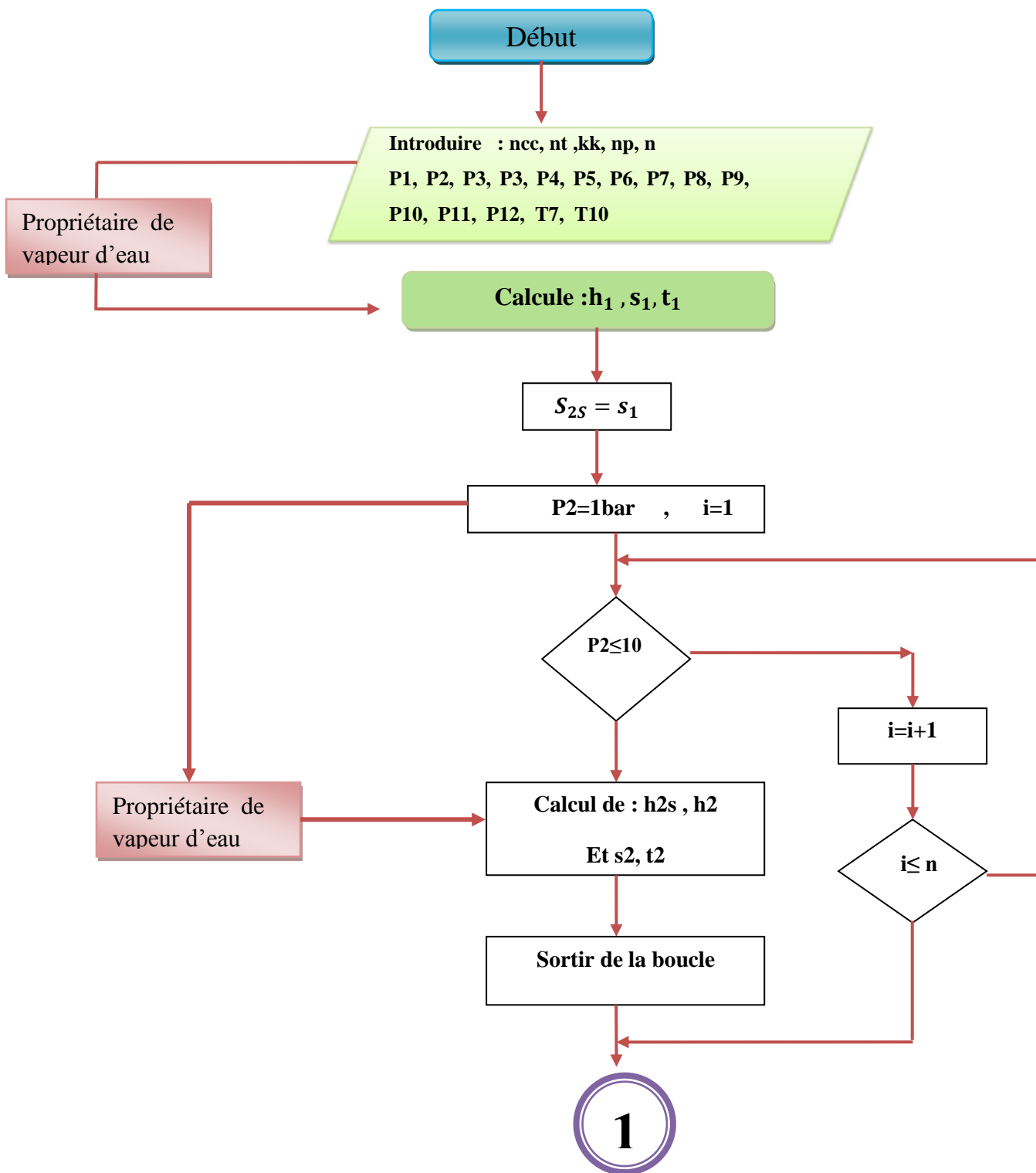
Le rendement de cycle avec installation avec resurchauffe et deux soutirages et deux mélangeurs

- ▶ Équation de rendement  $\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{cd}}$  avec  $\dot{W}_{net} = \dot{W}_{HP} + \dot{W}_{BP} - \dot{W}_{p1} - \dot{W}_{p2} - \dot{W}_{p3}$

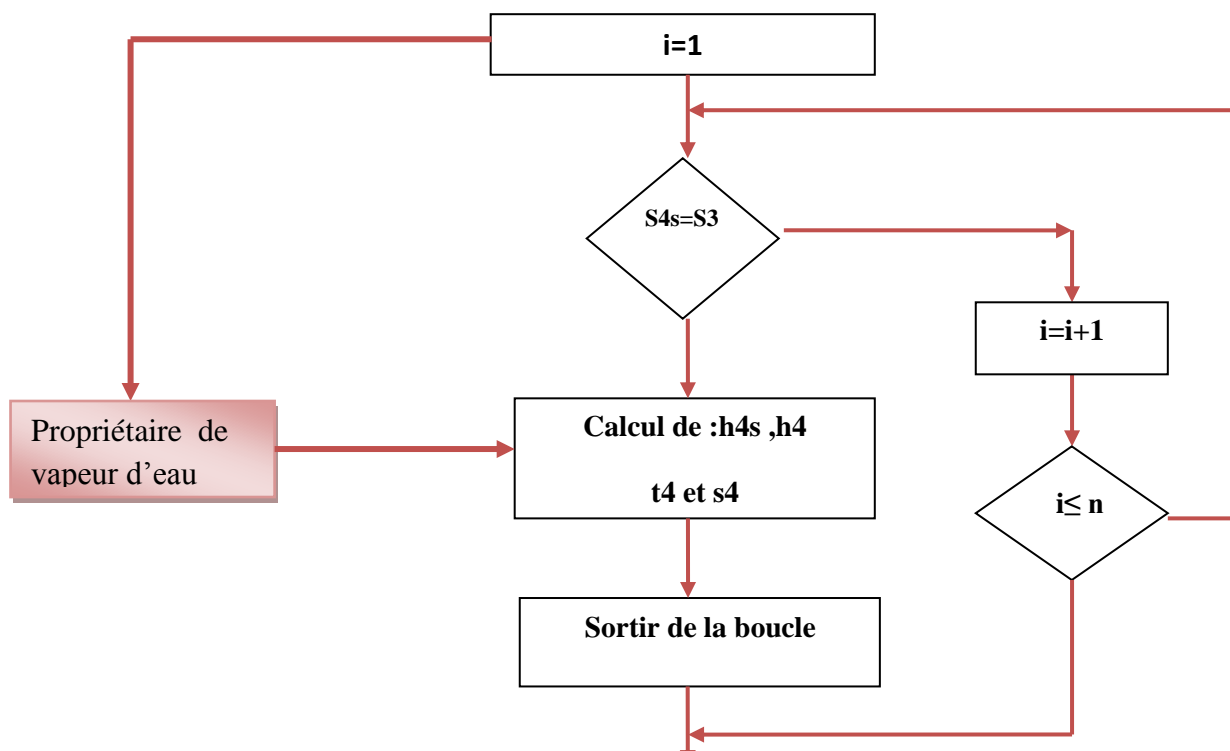
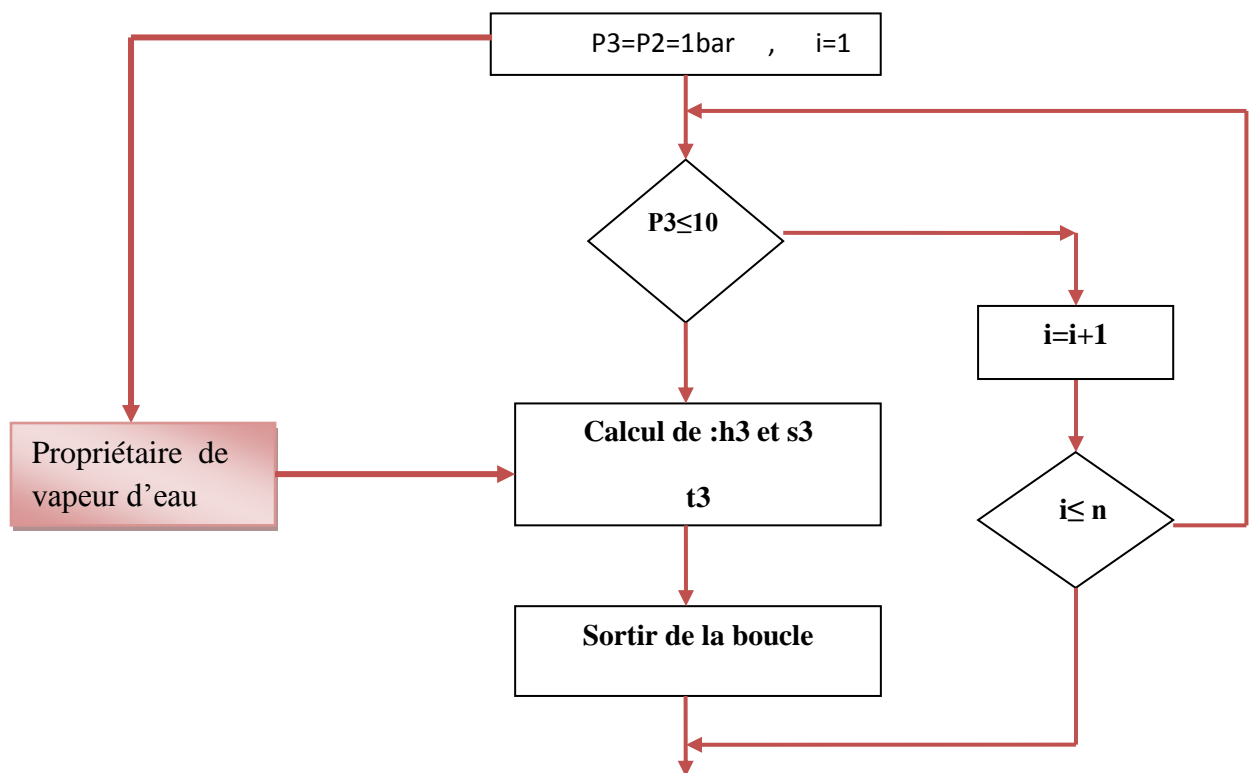
$$\eta_{th} = \frac{W_T - W_{p1} - W_{p2} - W_{p3}}{Q_{cd}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{W}_{p1} = \dot{m}_p (h_2 - h_1) \\ \dot{W}_{p2} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_4 - h_3) \\ \dot{W}_{p3} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_6 - h_5) \\ \dot{W}_{HP} = \dot{m} (h_7 - h_8) + (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_8 - h_9) \\ \dot{W}_{BP} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_{10} - h_{11}) + (\dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2}) (h_{11} - h_{12}) \\ \dot{W}_T = \dot{W}_{HP} + \dot{W}_{BP} \end{array} \right.$$

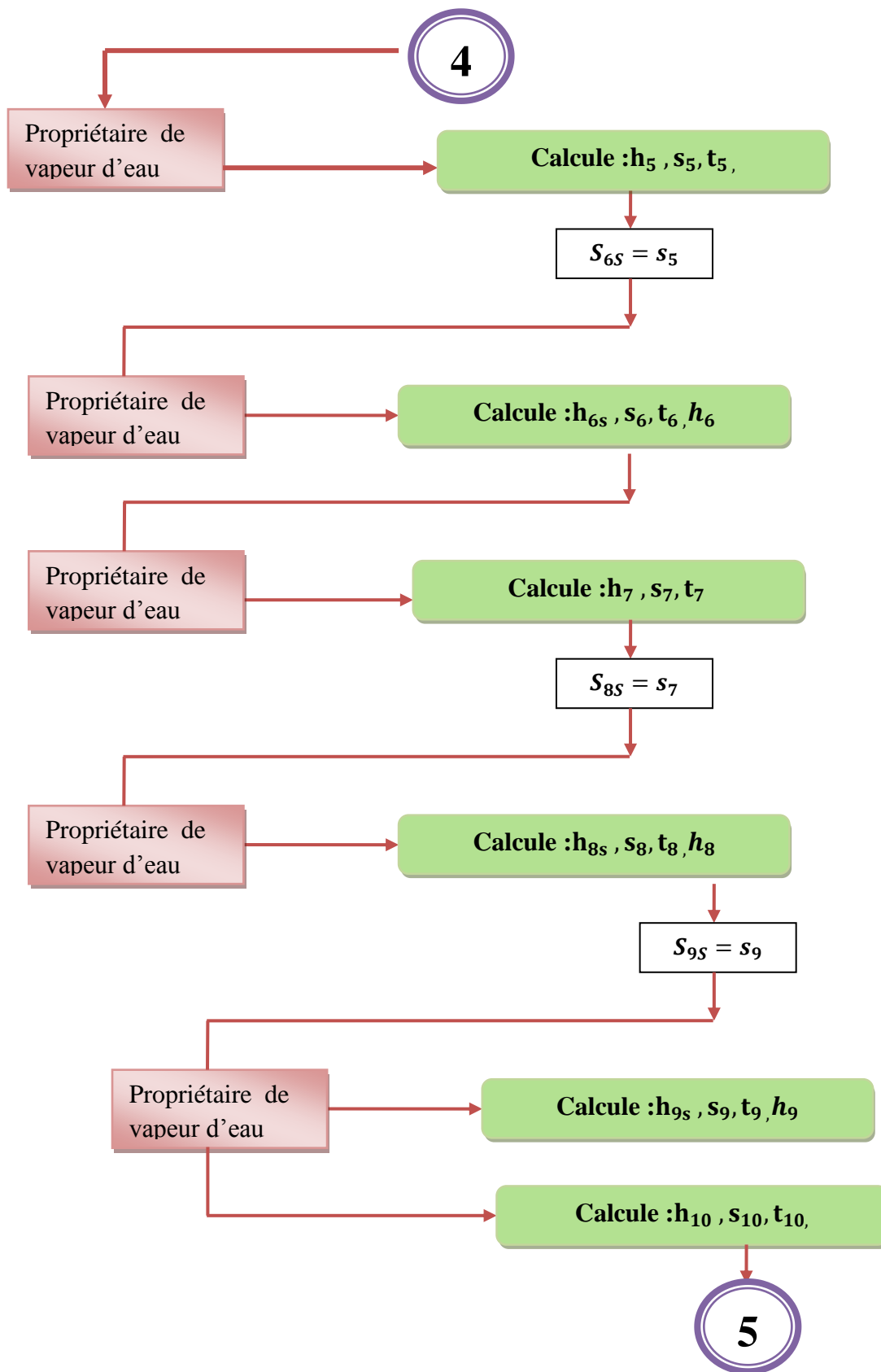
5.4 L'organigramme de calcul :

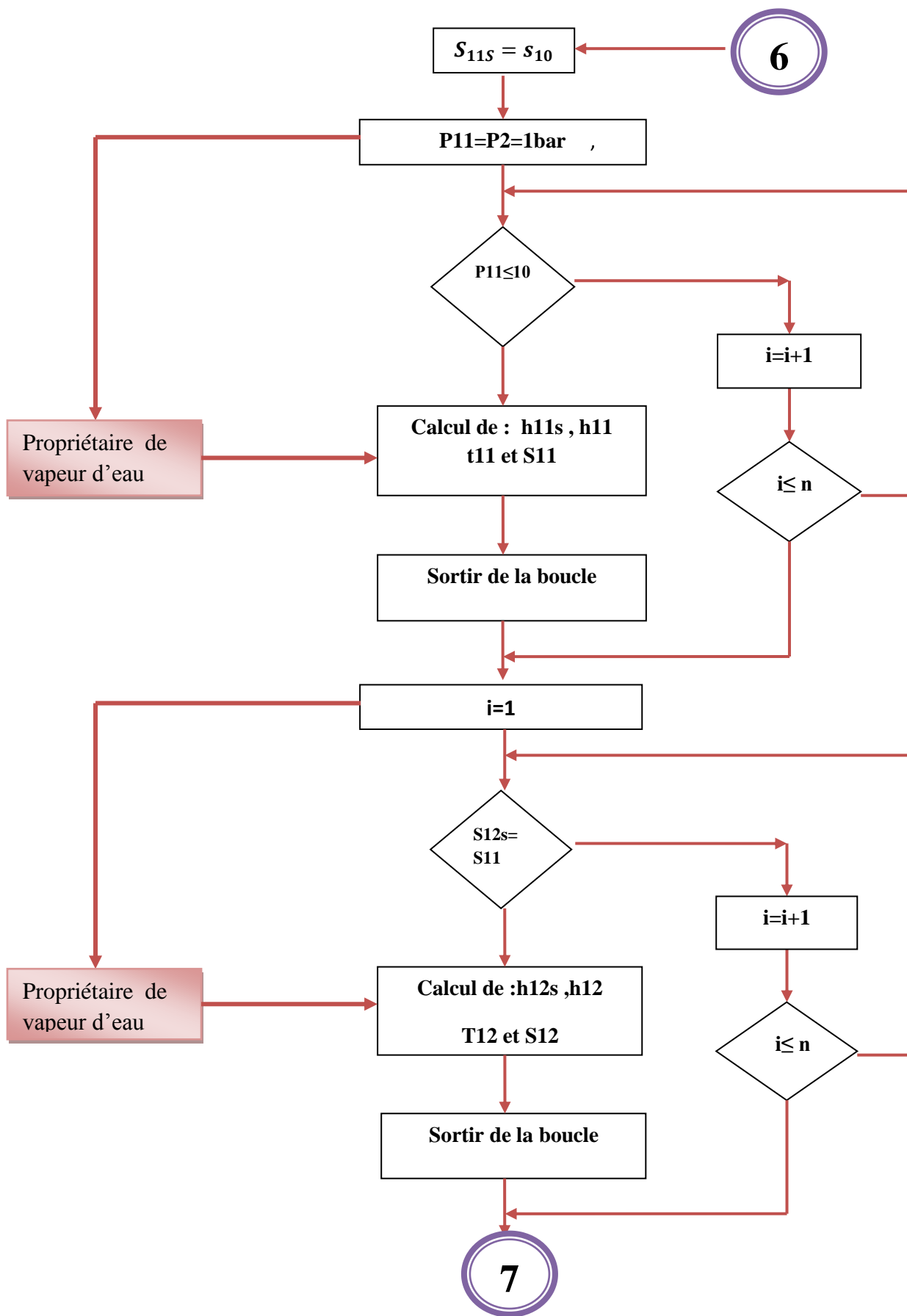


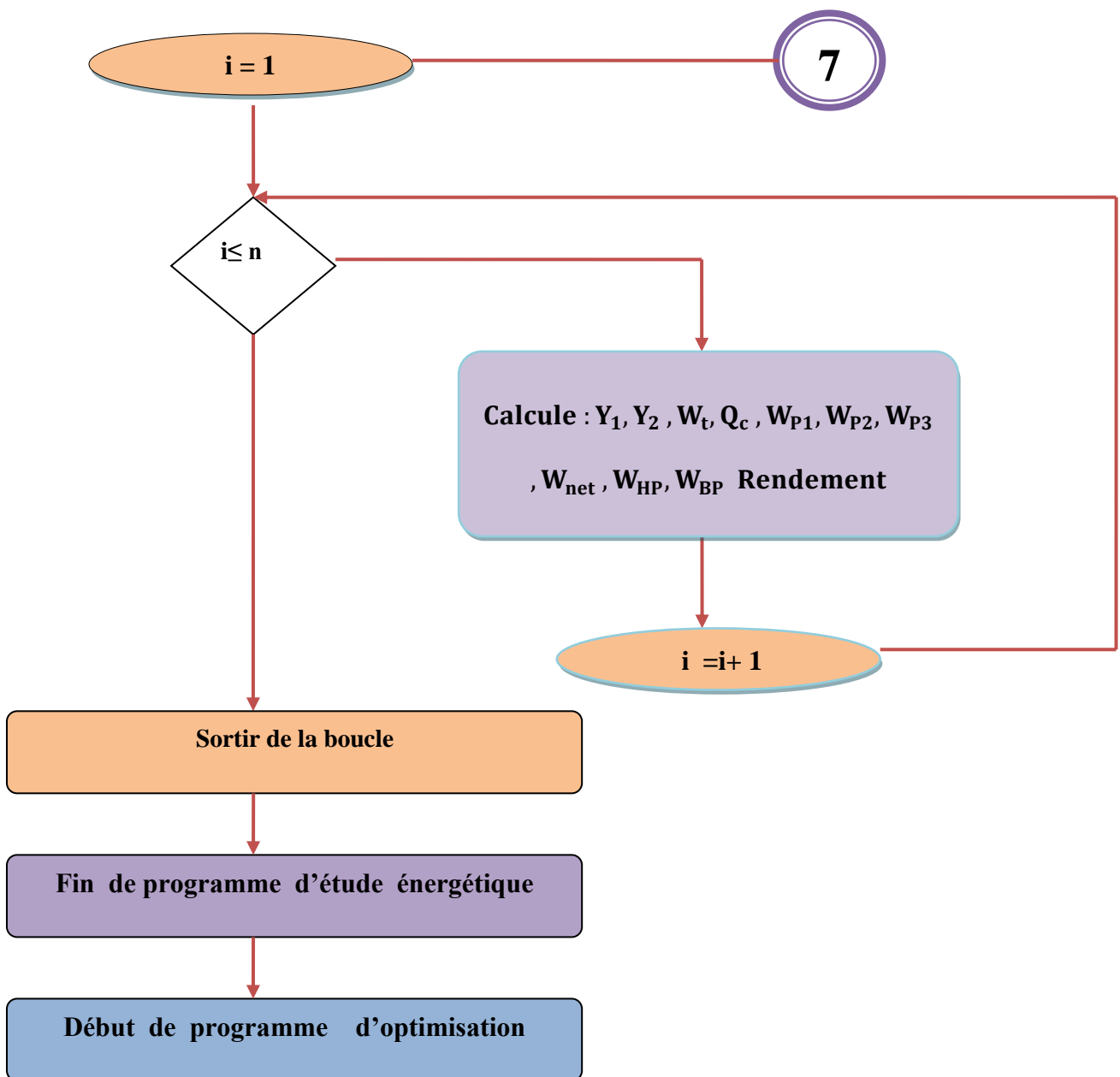
2

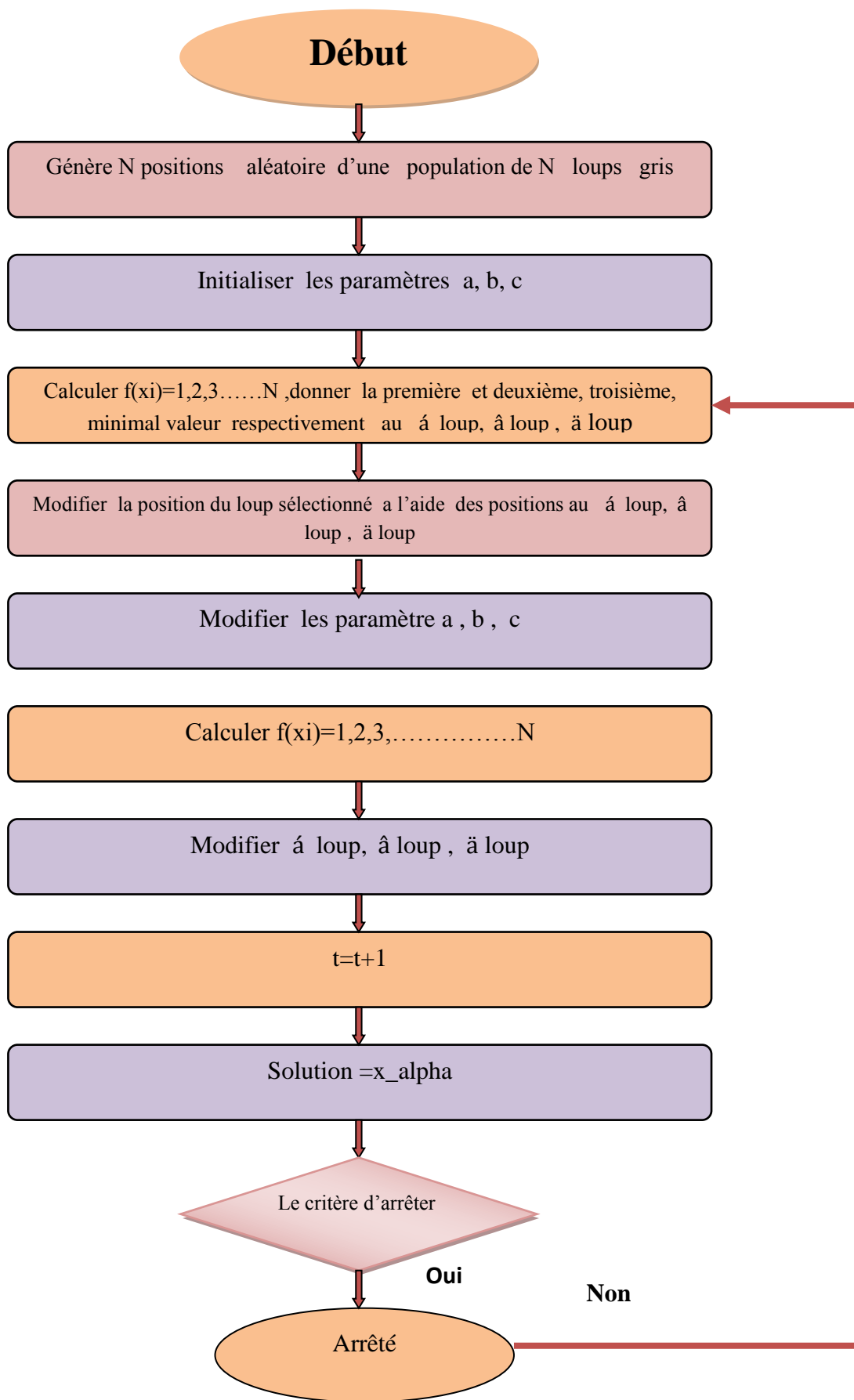


3









## 5.5 Les résultats de troisième programme

### 5.5.1. Variation du rendement en fonction des fractions massiques soutirées $Y_{s1}$ et $Y_{s2}$

La figure 5.2 (a) et (b) illustre la variation du rendement du système en fonction des fractions massiques soutirées  $Y_{s1}$  et  $Y_{s2}$ , pour une température et une pression du générateur de vapeur ( $T_g = 540 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_g = 140 \text{ bar}$ ), et une pression de condenseur  $P_c = 0.05 \text{ bar}$ .

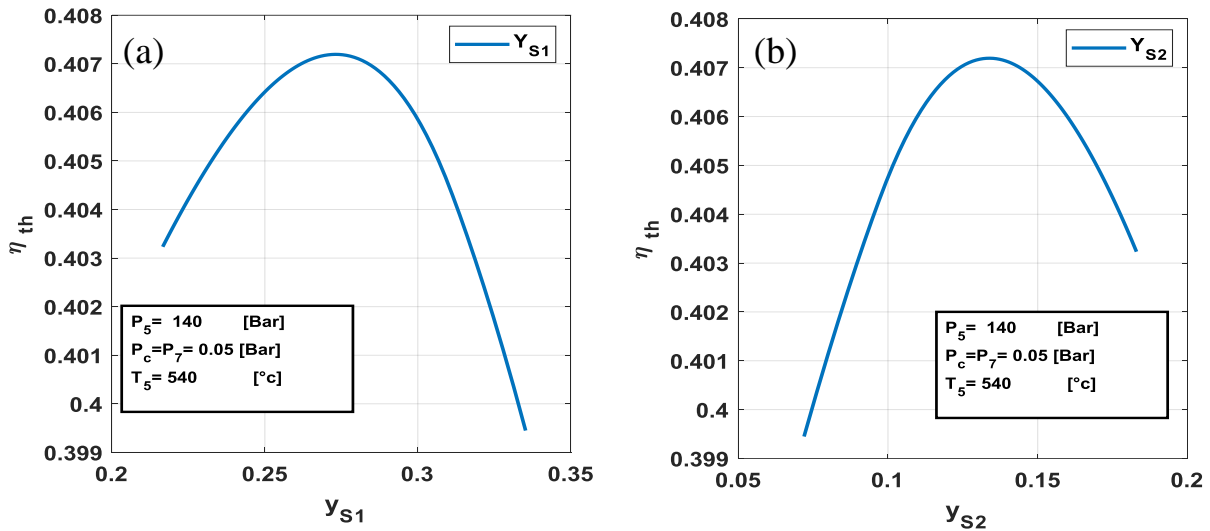


Figure 5.2 : Variation du rendement en fonction de fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  et  $Y_{s2}$

D'après la figure 5.2 (a) nous constatons que le rendement augmente initialement avec l'augmentation de la fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  jusqu'à atteindre un pic de 0.407 lorsque  $Y_{s1} = 0.27$ . Au-delà de cette valeur, le rendement diminue de manière significative. De même, pour la Figure 5.2 (b). On constate une augmentation progressive du rendement jusqu'à un maximum de 0.407 pour  $Y_{s2}$  égal à 0.14, représentant la valeur optimale de la fraction massique soutirée. Au-delà de ce seuil, le rendement diminue pour des fractions massiques soutirées supérieures.

Ces résultats peuvent être interprétés comme suit au début, l'augmentation de la fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  ou  $Y_{s2}$  améliore le transfert de chaleur et l'efficacité du cycle, ce qui entraîne une augmentation du rendement. Cependant, après un certain point, une fraction massique trop élevée commence à perturber le fonctionnement optimal du système, en diminuant la quantité de vapeur disponible pour effectuer du travail utile. Cela conduit à une diminution du rendement.

5.5.2. Variation du rendement en fonction des pressions de soutirage  $P_{s1}$  et  $P_{s2}$

Les résultats présentés dans la figure 5.3 (a) et (b) montrent la variation du rendement du système en fonction des pressions de soutirage  $P_{s1}$  et  $P_{s2}$ , pour une température et une pression du générateur de vapeur ( $T_g = 540 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_g = 140 \text{ bar}$ ), et une pression condenseur  $P_c = 0.05 \text{ bar}$

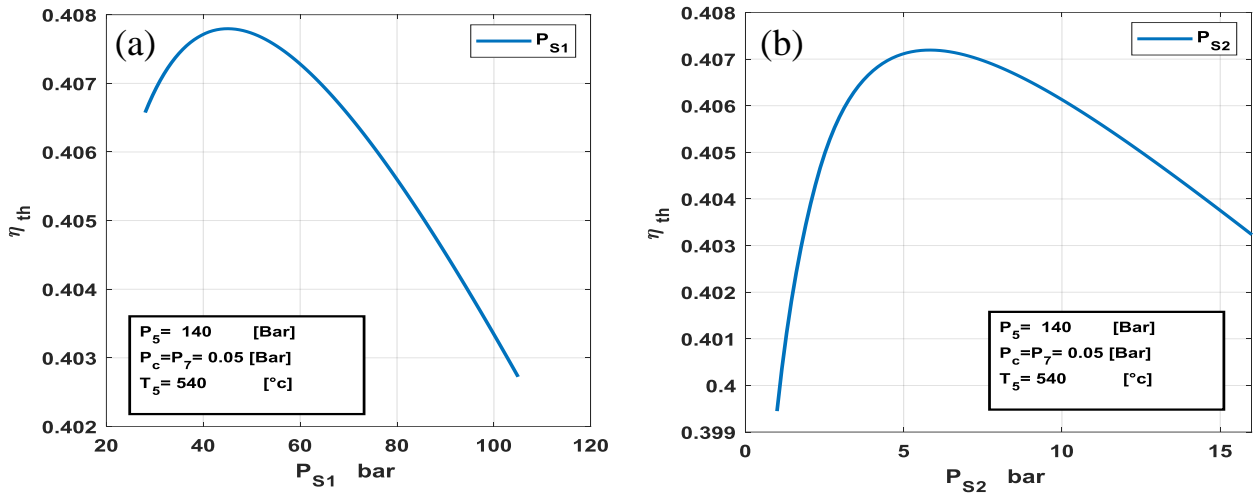


Figure 5.3 : variation du rendement en fonction de pression de soutirage  $P_{s1}$  et  $P_{s2}$

En analysant la figure 5.3 (a), on observe que le rendement augmente avec l'augmentation de la pression de soutirage  $P_{s1}$  jusqu'à atteindre un maximum. Au-delà de ce point optimal, le rendement commence à diminuer avec une augmentation de  $P_{s1}$ . Cette tendance peut être expliquée par l'amélioration initiale du transfert de chaleur et de l'efficacité du cycle thermodynamique à des pressions plus élevées. Cependant, une pression trop élevée perturbe l'équilibre du cycle, réduisant ainsi la quantité de vapeur disponible pour le travail utile, ce qui diminue le rendement global. De même, pour la figure 5.3 (b) montre que le rendement augmente initialement avec la pression de soutirage  $P_{s2}$  jusqu'à un certain point optimal, après quoi il commence à diminuer. Cela s'explique par les mêmes principes, l'amélioration initiale de l'efficacité due à une meilleure extraction de la vapeur, suivie d'une diminution du rendement lorsque la pression devient trop élevée, réduisant ainsi l'efficacité du cycle en raison d'une extraction excessive de la vapeur. En conclusion, les deux figures démontrent qu'il existe une pression de soutirage optimale pour  $P_{s1}$  et  $P_{s2}$  qui maximise le rendement du système. Cette pression optimale assure un équilibre entre un transfert de chaleur efficace et une quantité suffisante de vapeur disponible pour effectuer du travail utile. Des valeurs de pression trop basses ou trop élevées perturbent cet équilibre, entraînant une diminution du rendement. Il est donc crucial de contrôler et d'ajuster les pressions de soutirage pour maintenir une efficacité optimale du système.

5.5.3. Variation du rendement en fonction de température de soutirage  $T_{s1}$  et  $T_{s2}$

Les graphiques présentés en Figure 5.4 montrent la variation du rendement ( $\eta$ ) du système en fonction des températures de soutirage  $T_{s1}$  et  $T_{s2}$ . Pour une température et une pression du générateur de vapeur ( $P_g = 140$  bar et  $T_g = 540$  °C) et une pression de condenseur  $P_c = 0.05$  bar.

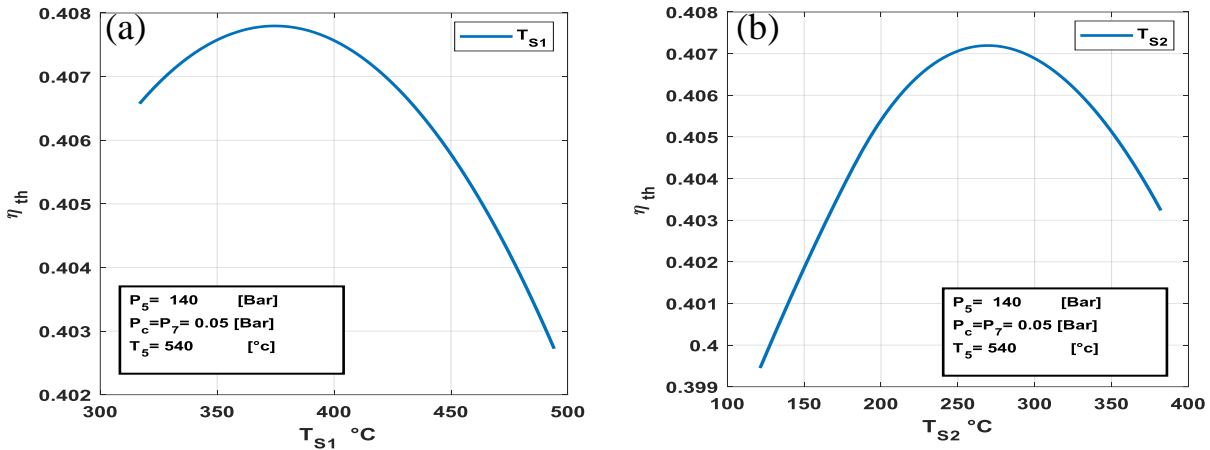


Figure 5.4 : Variation du rendement en fonction de température de soutirage  $T_{s1}$  et  $T_{s2}$

Le graphique (a) illustre la relation entre le rendement ( $\eta$ ) et la température de soutirage  $T_{s1}$ . On observe que le rendement augmente initialement avec  $T_{s1}$  jusqu'à atteindre un maximum aux alentours de 375°C, après quoi il commence à diminuer. Cette tendance peut être expliquée par le fait qu'à des températures de soutirage plus élevées, l'énergie extraite est plus utile pour le cycle, augmentant ainsi le rendement. au-delà d'une certaine température, les pertes thermodynamiques et autres inefficacités augmentent, réduisant le rendement global. Le même pour le graphique (b) montre la variation du rendement en fonction de la température de soutirage  $T_{s2}$ . Un comportement similaire est observé, où le rendement atteint un maximum aux environs de 250°C avant de diminuer. La montée initiale du rendement est due à une meilleure utilisation de l'énergie à des températures de soutirage modérément élevées. Cependant, comme pour  $T_{s2}$  une trop haute température de soutirage entraîne des pertes accrues et une diminution du rendement.

5.5.4. Variation de température de soutirage  $T_{s1}$  et fraction massique  $Y_{s1}$  en fonction de  $P_{s1}$

La figure 5.5 (a) et (b) représente la variation de température de soutirage  $T_{s1}$  et fraction massique  $Y_{s1}$  en fonction de  $P_{s1}$  pour une température et une pression du générateur de vapeur ( $T_g = 540$  °C,  $P_g = 140$  bar), et une pression condenseur  $P_c = 0.05$  bar.

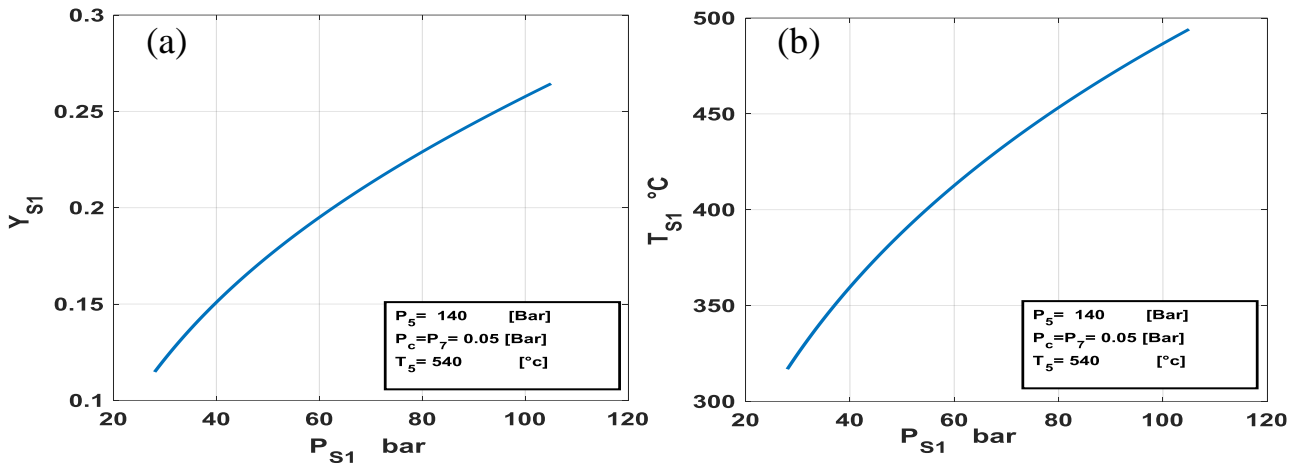


Figure 5.5 : variation de température de soutirage  $T_{s1}$  et fraction massique  $Y_{s1}$  en fonction de  $P_{s1}$

La figure 5.5(a) montre l'évolution de la fraction massique  $Y_{s1}$  par rapport à la pression de soutirage  $P_{s1}$ . On observe une augmentation progressive de  $Y_{s1}$  qui passe de 0,12 à 0,25 lorsque  $P_{s1}$  varie de 20 à 105 bars. Cette tendance indique que la fraction de vapeur extraite augmente avec la pression de soutirage. En effet, une pression de soutirage plus élevée favorise la séparation de la vapeur du liquide, augmentant ainsi la fraction massique de vapeur

la figure 5.5 (b) illustre la variation de la température de soutirage  $T_{s1}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s1}$ . On remarque que  $T_{s1}$  augmente de manière quasi linéaire de 310°C à 490°C pour des valeurs de  $P_{s1}$  allant de 25 à 105 bars. Cela s'explique par le fait qu'une pression plus élevée nécessite une température plus élevée pour maintenir la vapeur à l'état de saturation. Par conséquent, l'augmentation de la pression de soutirage entraîne une élévation de la température de soutirage.

5.5.5. Variation de température de soutirage  $T_{s2}$  et fraction massique  $Y_{s2}$  en fonction de  $P_{s2}$

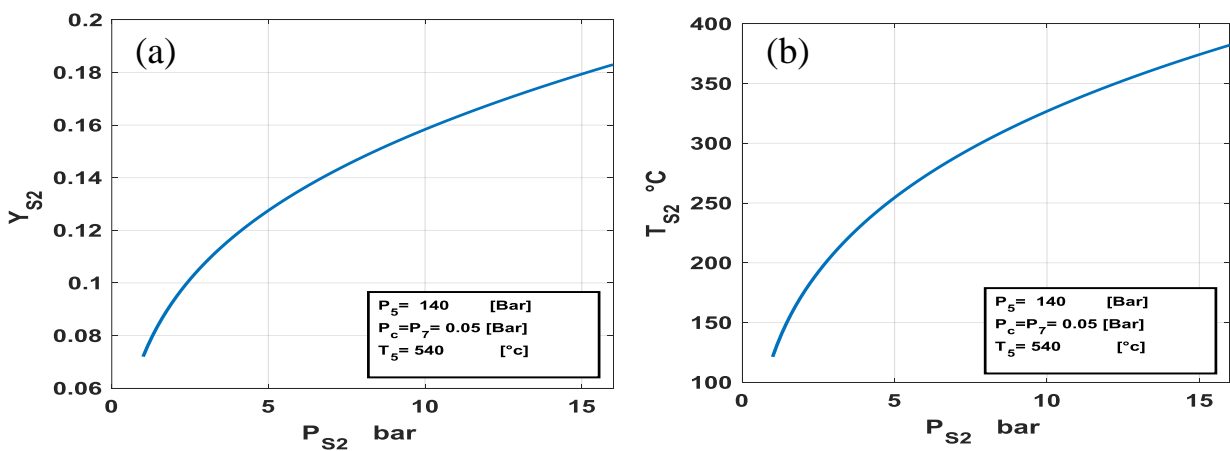
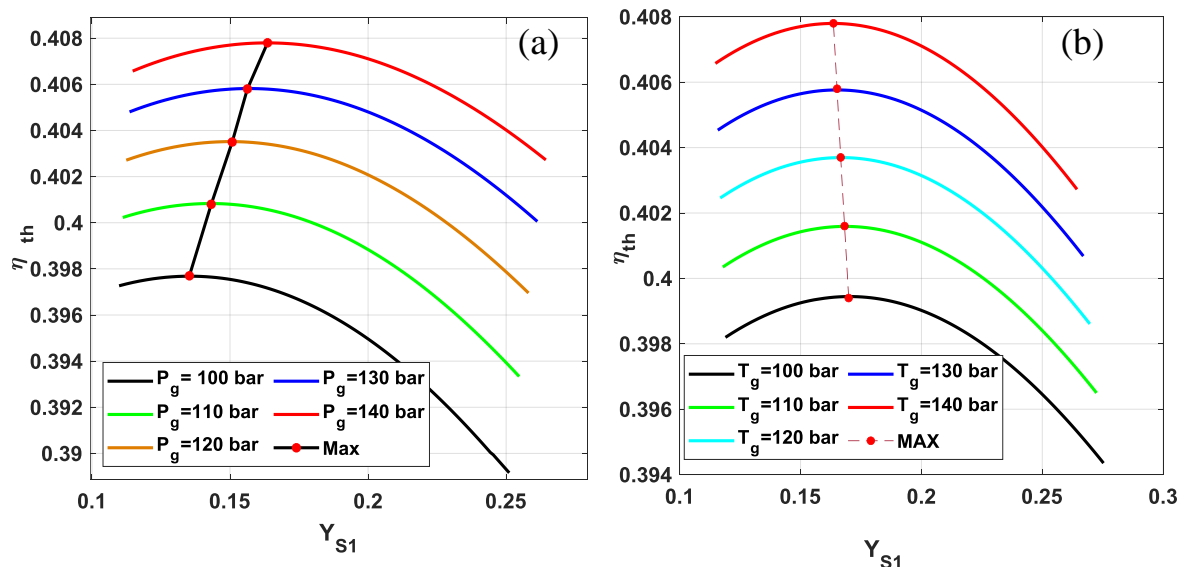


Figure 5.6 : la variation de température de soutirage  $T_{s2}$  et fraction massique  $Y_{s2}$  en fonction de  $P_{s2}$

Les figures 5.6(a) et 5.6(b) montrent respectivement la variation de la fraction massique  $Y_{s2}$  et de la température de soutirage  $T_{s2}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s2}$  pour une température et une pression du générateur de vapeur ( $T_g = 540 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_g = 140 \text{ bar}$ ), et une pression condenseur  $P_c = 0.05 \text{ bar}$ . La figure 5.6 (a) illustre l'évolution de la fraction massique  $Y_{s2}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s2}$ . On observe une augmentation de  $Y_{s2}$  qui passe de 0,07 à 0,18 lorsque  $P_{s2}$  varie de 0 à 17 bars. Cela montre que la fraction de vapeur soutirée augmente avec l'augmentation de la pression de soutirage. La tendance indiquée ici est similaire à celle observée dans la figure 5.5(a), démontrant que la fraction massique de vapeur extraite est proportionnelle à la pression de soutirage. Pour la figure 5.6 (b) montre la variation de la température de soutirage  $T_{s2}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s2}$ . Il est clair que  $T_{s2}$  augmente de manière significative de  $130^\circ\text{C}$  à  $320^\circ\text{C}$  pour des valeurs de  $P_{s2}$  allant de 0 à 17 bars. L'augmentation de la pression de soutirage entraîne donc une élévation de la température nécessaire pour maintenir la vapeur à l'état de saturation, similaire à ce qui a été observé dans la figure 5.5(b).

**5.5.6. Effet de la fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  sur le rendement**

La figure 5.7 illustre l'effet de la fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  sur le rendement. Pour la figure(a), la température de génération reste constante à  $540 \text{ }^\circ\text{C}$  tandis que la pression augmente de 112 bar à 140 bar. Et Pour la deuxième figure (b), la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de  $512 \text{ }^\circ\text{C}$  à  $540 \text{ }^\circ\text{C}$



**Figure 5.7 : Effet de la fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  sur le rendement**

5.5.7. Effet de la fraction massique soutirée  $Y_{S2}$  sur le rendement

La figure 5.8 illustre l'effet de la fraction massique soutirée  $Y_{S2}$  sur le rendement, Pour la figure (a), la température de génération reste constante à 540 °C tandis que la pression augmente de 112 bar à 140 bar. Et Pour la deuxième figure (b), la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de 512 °C à 540 °C

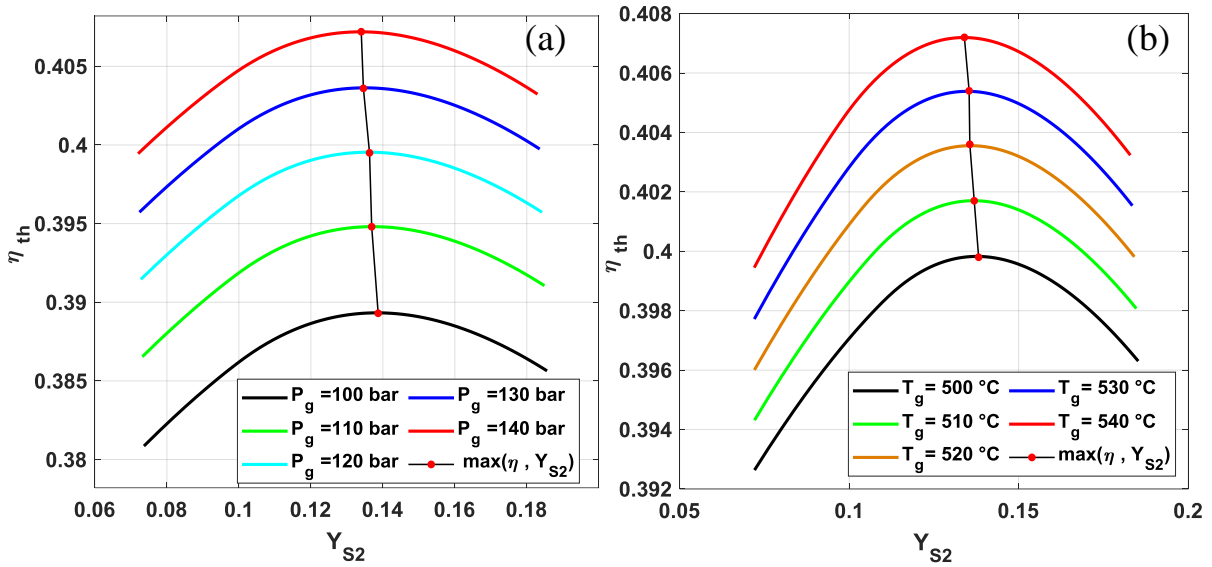


Figure 5.8 : Effet de la fraction massique soutirée  $Y_{S2}$  sur le rendement

5.5.8. Effet de pression de soutirage  $P_{S1}$  sur le rendement

La figure 5.9 illustre l'effet de pression de soutirage  $P_{S1}$  sur le rendement. Dans le premier cas, la température de génération reste constante à 540 °C tandis que la pression augmente de 112 bar à 140 bar. Pour le deuxième cas, la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de 512 °C à 540 °C

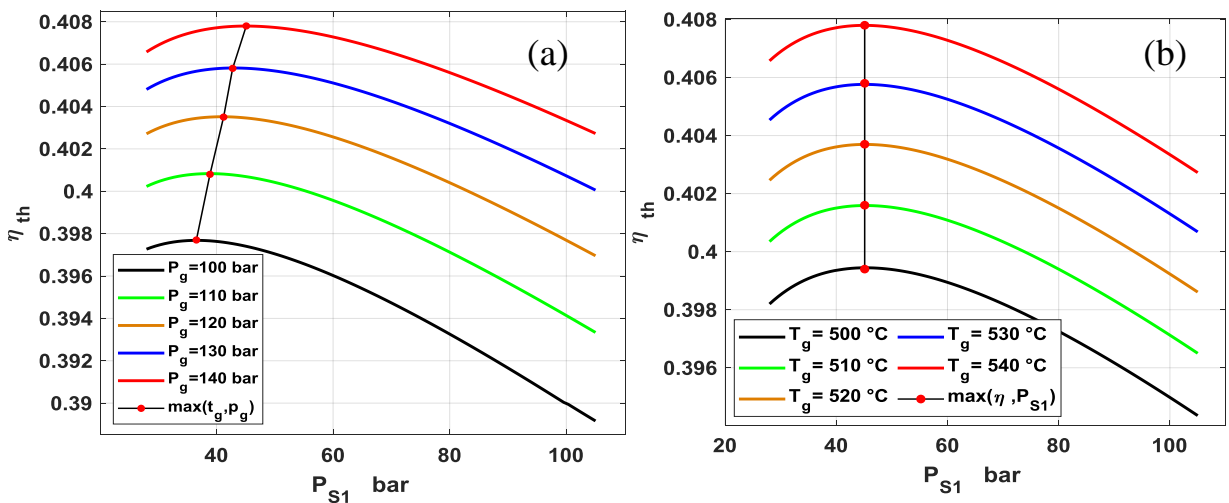


Figure 5.9 : Effet de pression de soutirage  $P_{S1}$  sur le rendement

5.5.9. Effet de la pression de soutirage  $P_{S2}$  sur le rendement

La figure 5.10 représente, l'effet de la pression de soutirage  $P_{S2}$  sur le rendement. Pour la figure (a), la température de génération reste constante à 540 °C tandis que la pression augmente de 112 bar à 140 bar. Et Pour la deuxième figure (b), la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de 512 °C à 540 °C

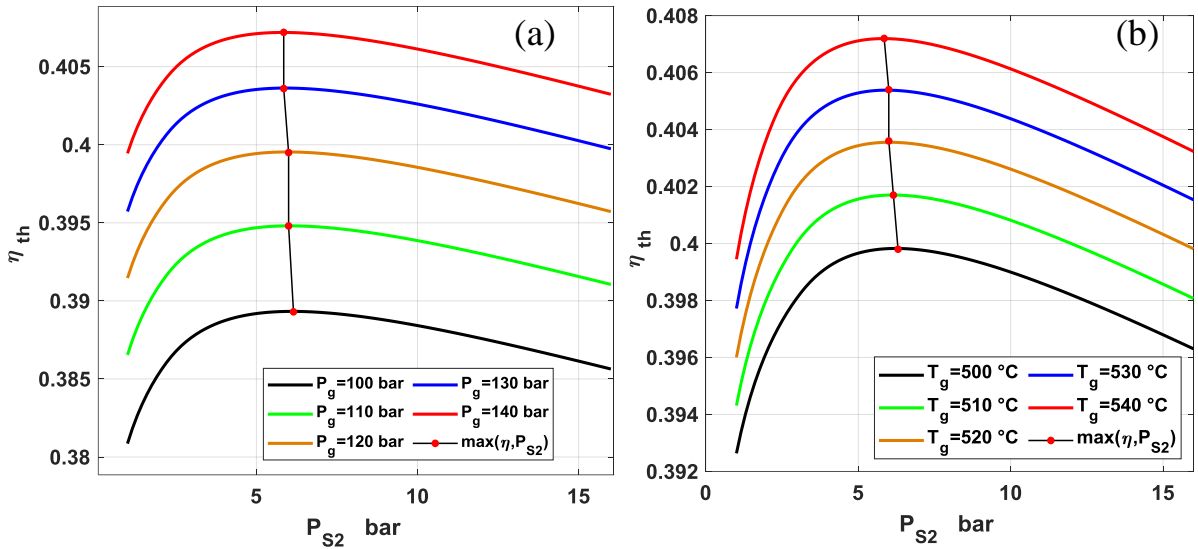


Figure 5.10 : Effet de la pression de soutirage  $P_{S2}$  sur le rendement

5.5.10. Effet de la température de soutirage  $T_{S1}$  sur le rendement

La figure 5.11 représente, l'effet de la température de soutirage  $T_{S1}$  sur le rendement. Pour la figure (a), la température de génération reste constante à 540 °C tandis que la pression augmente de 112 bar à 140 bar. Et Pour la deuxième figure (b), la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de 512 °C à 540 °C

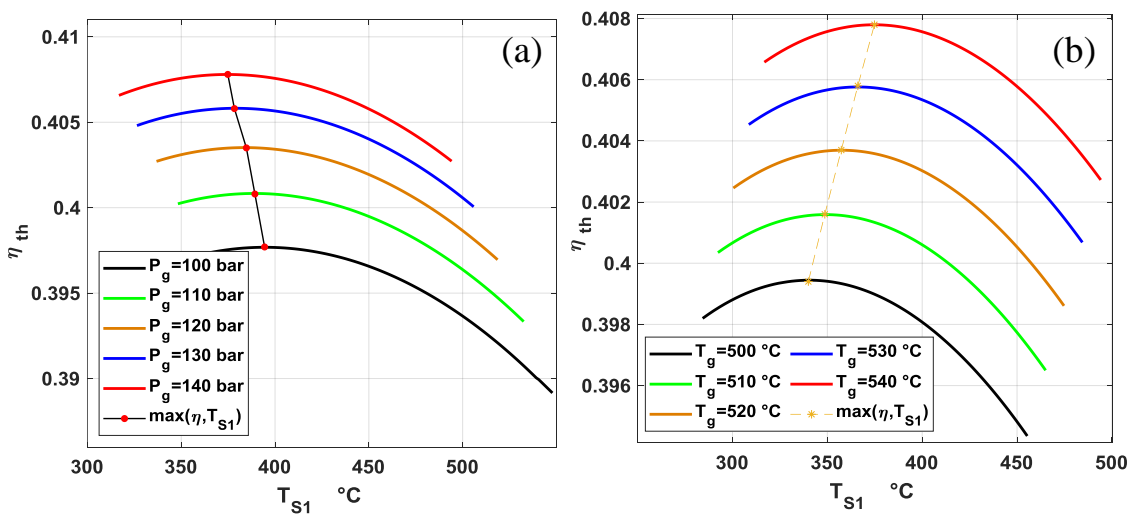


Figure 5.11 : Effet de la température de soutirage  $T_{S1}$  sur le rendement

5.5.11. Effet de la température de soutirage  $T_{S1}$  sur le rendement

La figure 5.12 représente l'effet de la température de soutirage  $T_{S1}$  sur le rendement. Dans le premier cas, en gardant la température de génération constante à 540 °C et en effectuant une augmentation de la pression de 112 bar à 140 bar. Pour le deuxième cas, la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de 512 °C à 540 °C.

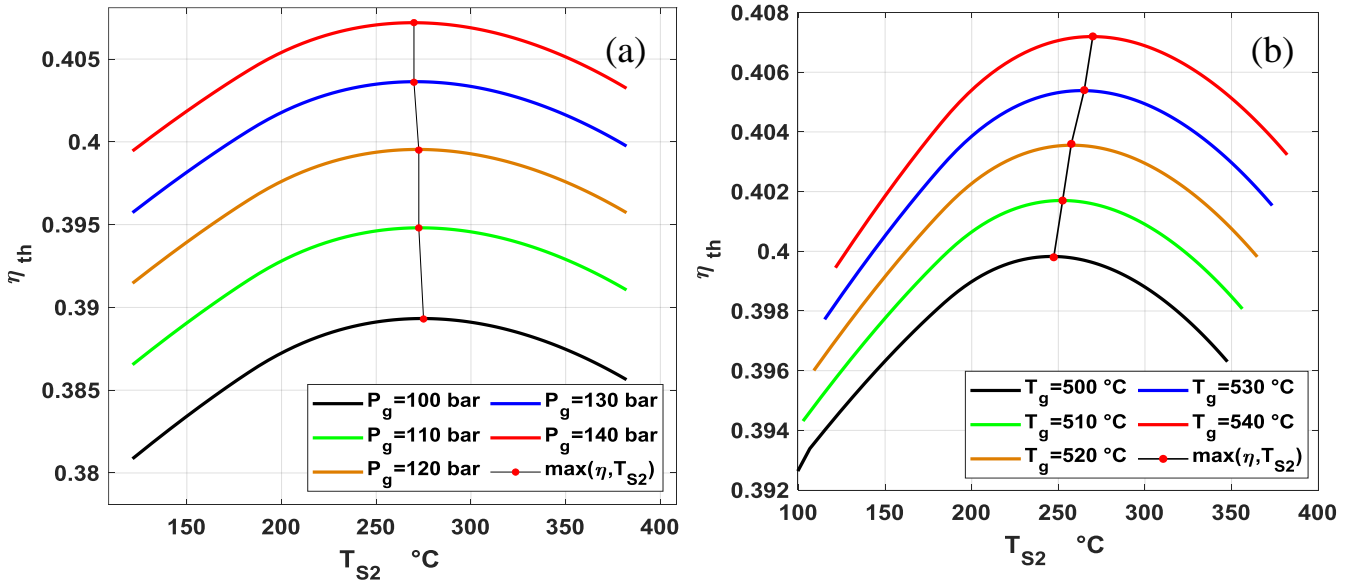


Figure 5.12 : Effet de la température de soutirage  $T_{S1}$  sur le rendement

5.5.12. Effet de la pression de soutirage  $P_{S1}$  sur fraction massique soutirée  $Y_{S1}$

La figure 5.13 représente l'effet de la pression de soutirage  $P_{S1}$  sur fraction massique soutirée  $Y_{S1}$ . Dans le premier cas, en gardant la température de génération constante à 540 °C et en effectuant une augmentation de la pression de 112 bar à 140 bar. Pour le deuxième cas, la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de 512 °C à 540 °C.

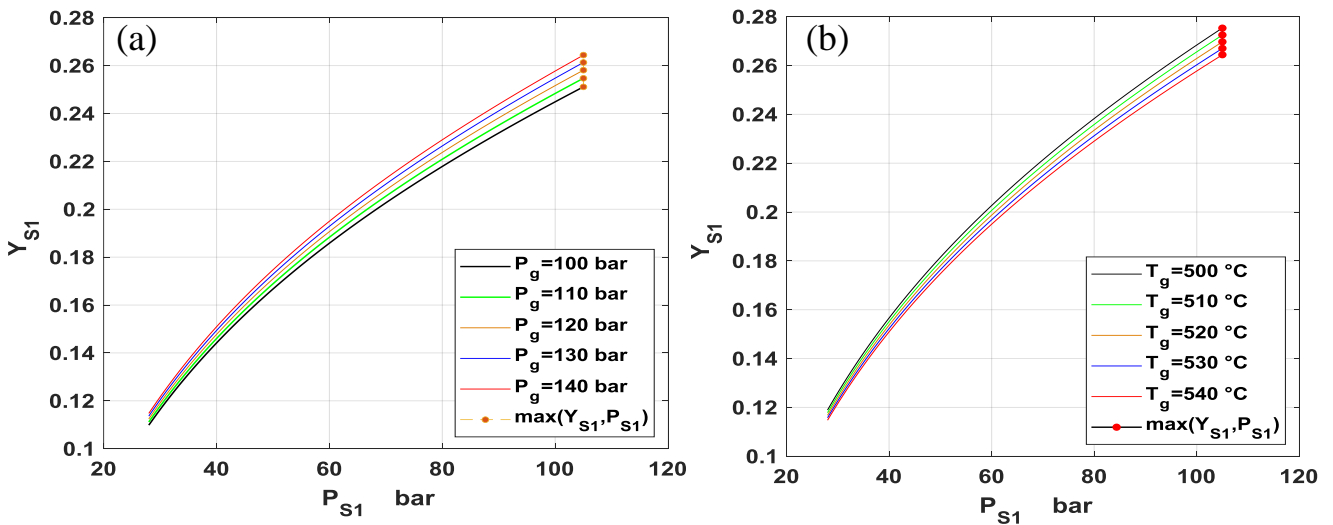


Figure 5.13 : Effet de la pression de soutirage  $P_{S1}$  sur fraction massique soutirée  $Y_{S1}$

5.5.13. Effet de la pression de soutirage  $P_{S2}$  sur fraction massique soutirée  $Y_{S2}$

La figure 5.14 représente l'effet de pression de soutirage  $P_{S2}$  sur fraction massique soutirée  $Y_{S2}$ , Dans le premier cas, En gardant la température de génération constante à 540 °C et en effectuant une augmentation de la pression de 112 bar à 140 bar. Pour le deuxième cas, la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de 512 °C à 540 °C

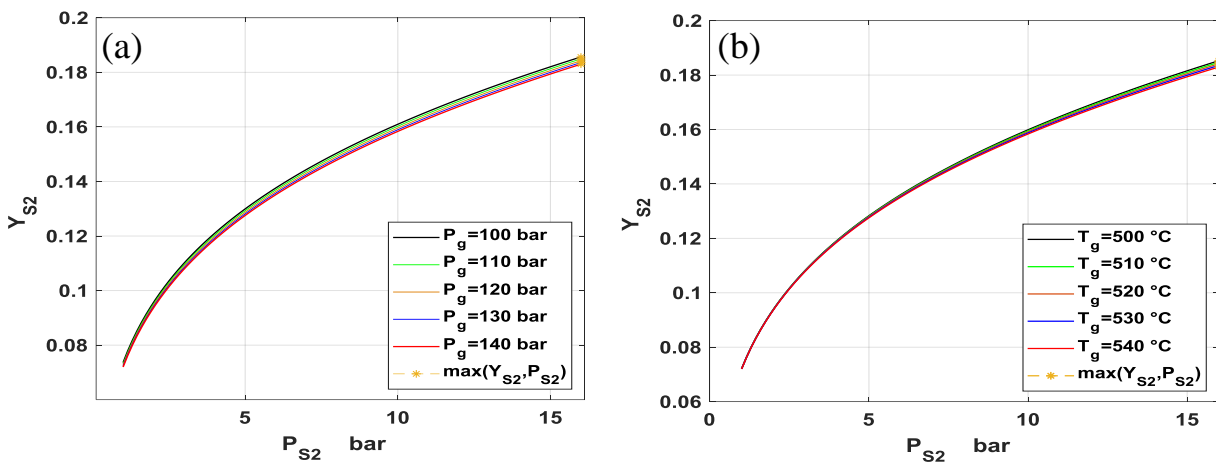


Figure 5.14 : Effet de la pression de soutirage  $P_{S2}$  sur fraction massique soutirée  $Y_{S2}$

5.5.14. Effet de la pression de soutirage  $P_{S1}$  sur la température de soutirage  $T_{S1}$

La figure 5.15 représente l'effet de pression de soutirage  $P_{S1}$  sur la température de soutirage  $T_{S1}$ . Dans le premier cas, En gardant la température de génération constante à 540 °C et en effectuant une augmentation de la pression de 112 bar à 140 bar. Pour le deuxième cas, la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de 512 °C à 540 °C

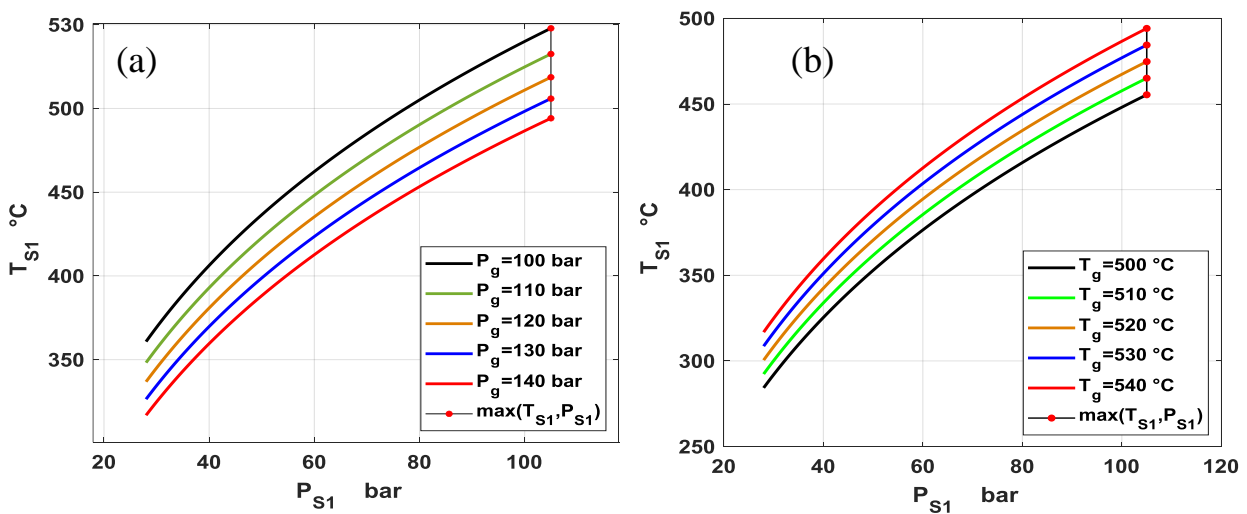


Figure 5.15 : Effet de la pression de soutirage  $P_{S1}$  sur la température de soutirage  $T_{S1}$

5.5.15. Effet de la pression de soutirage  $P_{S2}$  sur la température de soutirage  $T_{S2}$

La figure 5.16 représente l'effet de pression de soutirage  $P_{S2}$  sur température de soutirage  $T_{S2}$ , Dans le premier cas, En gardant la température de génération constante à 540 °C et en effectuant une augmentation de la pression de 112 bar à 140 bar. Pour le deuxième cas, la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de 512 °C à 540 °C

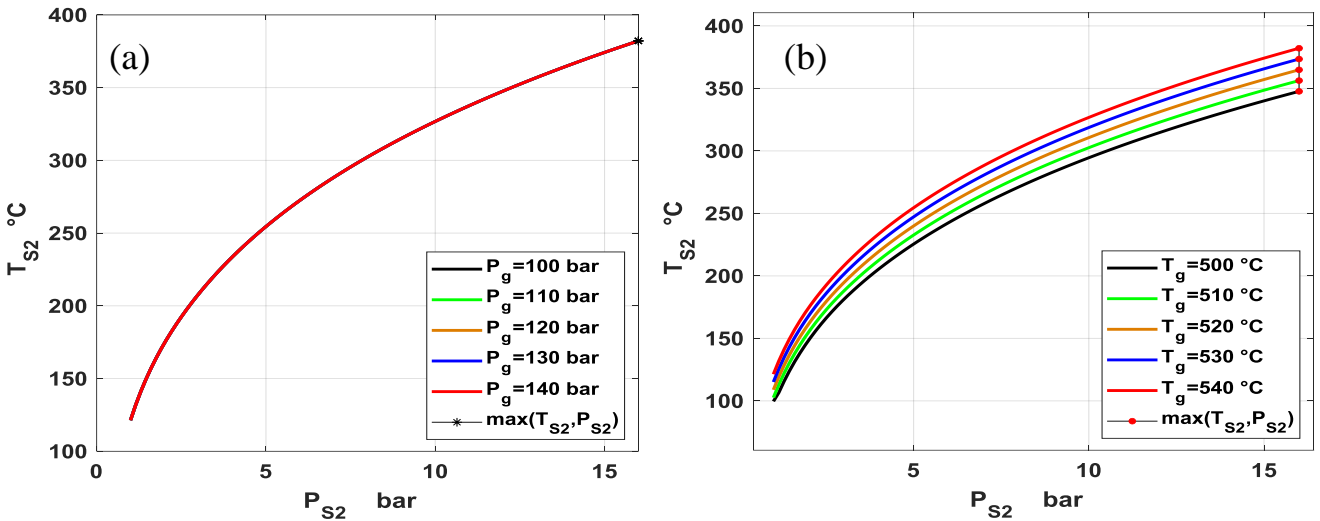


Figure 5.16 : Effet de la pression de soutirage  $P_{S2}$  sur la température de soutirage  $T_{S2}$

5.6. Les résultats d'optimisation

5.6.1. Variation du rendement en fonction de la température et de la pression du générateur

La figure 5.17 illustre la variation du rendement d'une turbine à vapeur en fonction de la température  $T_g$ , et de la pression  $P_g$  du générateur de vapeur. Les valeurs de la pression varient de 112 bar à 160 bar et les valeur de température varient de 512°C à 560°C.

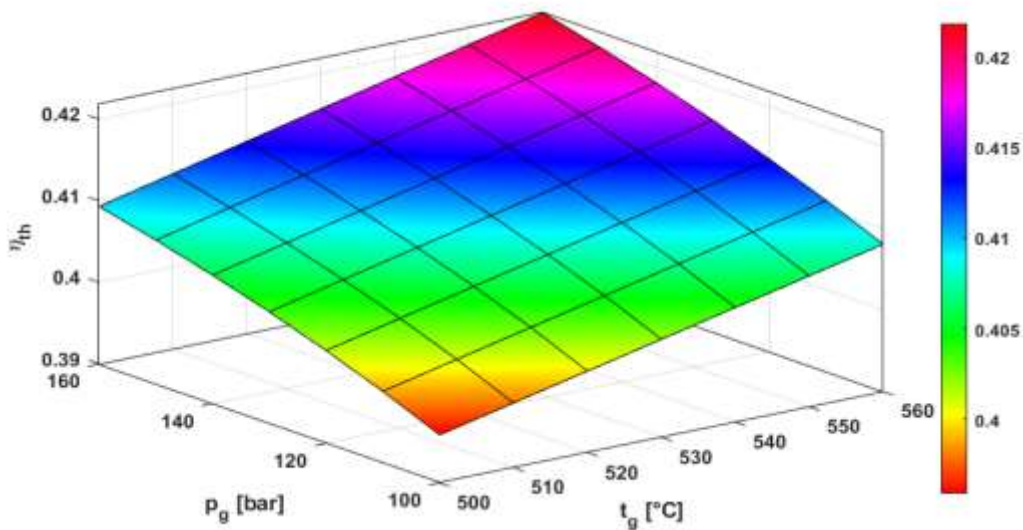


Figure 5.17 : Variation du rendement en fonction de  $P_g$  et  $T_g$

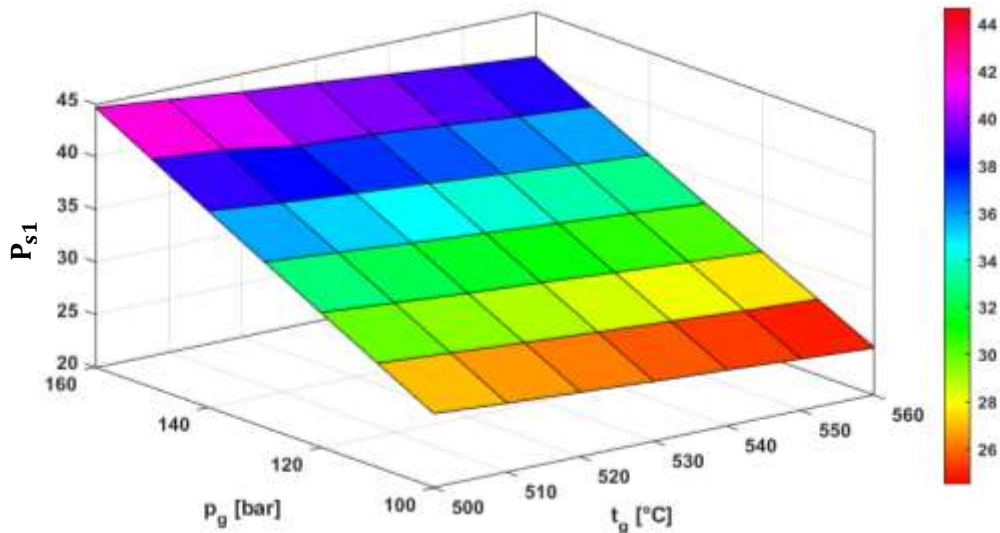
On observe que le rendement varie dans une plage de 0,39 à 0,42. Le rendement augmente avec l'augmentation de la température et de la pression du générateur de vapeur, atteignant ses valeurs maximales dans la région où la pression et la température sont les plus élevées, soit aux alentours de 160 bar et 560°C.

Cette analyse est cruciale pour déterminer les conditions opérationnelles optimales pour maximiser le rendement de la turbine à vapeur, contribuant ainsi à une meilleure efficacité énergétique et à une réduction des coûts opérationnels.

pour optimiser le rendement d'une turbine à vapeur, il est crucial de trouver un équilibre optimal entre la pression et la température du générateur de vapeur. Bien que des valeurs plus élevées de ces paramètres augmentent le rendement, L'optimisation de  $P_g$  et  $T_g$  peut considérablement influencer le rendement thermique du système. Des valeurs plus élevées de rendement indiquent une meilleure efficacité dans la conversion d'énergie.

**5.6.2. Variation de pression de soutirage  $P_{s1}$  en fonction de  $P_g$  et  $T_g$**

La figure 5.18 représente la variation de pression de soutirage  $P_{s1}$ , en fonction des paramètres du générateur de vapeur pression  $P_g$  et température  $T_g$ . Les valeurs de la pression varient de 112 bar à 160 bar et les valeur de température varient de 512°C à 560°C.



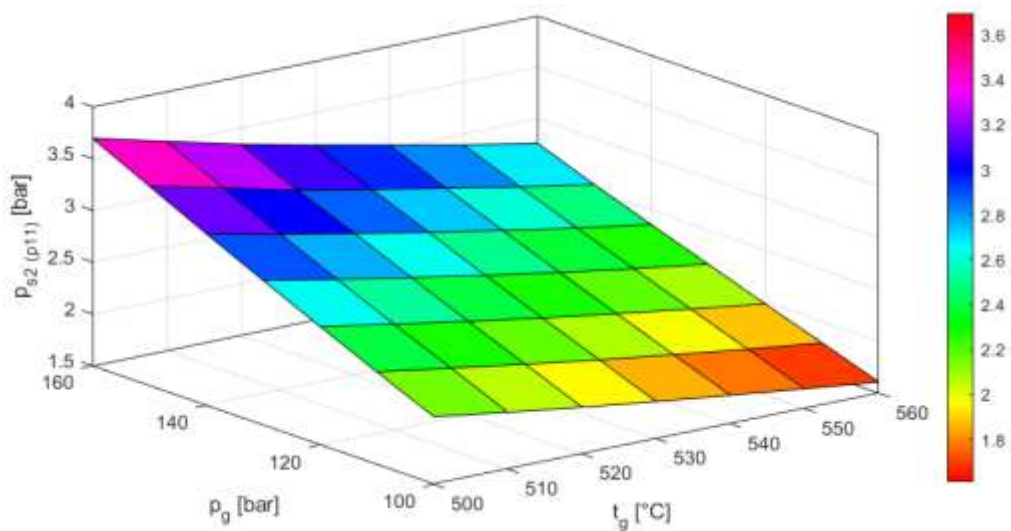
**Figure 5.18: variation de la pression de soutirage  $P_{s1}$  en fonction de  $P_g$  et  $T_g$**

On observe que pour des pressions du générateur de vapeur plus élevées, la pression de soutirage  $P_{s1}$  tend à être plus importante. Par exemple, à une température fixe de 560 °C, en augmentant la pression de 112 bar à 160 bar,  $P_{s1}$  passe d'environ 26 bar à environ 45 bar. Cette tendance est

similaire pour d'autres températures, ce qui indique une relation positive entre  $P_g$  et  $P_{s1}$ . De même, lorsque la température du générateur de vapeur augmente, la pression de soutirage  $P_{s1}$  augmente également. À une pression fixe de 160 bar, en augmentant la température de 512 °C à 560 °C,  $P_{s1}$  augmente de façon significative. Cette augmentation peut être attribuée à l'amélioration de l'enthalpie de la vapeur avec la température, ce qui augmente l'énergie disponible pour le travail mécanique. L'interpolation des résultats montre que  $P_{s1}$  suit une tendance linéaire ou quasi-linéaire avec les augmentations de  $P_g$  et  $T_g$ . Cette relation peut être modélisée pour prédire les valeurs de  $P_{s1}$  dans les intervalles donnés. Ces résultats sont cohérents avec les principes thermodynamiques : une pression et une température plus élevées augmentent l'efficacité du cycle de la turbine à vapeur, conduisant à une pression de soutirage plus élevée. En conclusion, cette figure montre que pour optimiser le rendement d'une turbine à vapeur, il est crucial de gérer efficacement la pression et la température du générateur de vapeur. L'augmentation de ces paramètres conduit à une augmentation de la pression de soutirage  $P_{s1}$  ce qui peut améliorer la performance globale du système.

### 5.6.3. Variation de la pression de soutirage $P_{s2}$ en fonction de $P_g$ et $T_g$

La figure 5.19 représente la variation de pression de soutirage  $P_{s2}$  en fonction des paramètres du générateur de vapeur pression  $P_g$  et température  $T_g$ . Les valeurs de la pression varient de 112 bar à 160 bar et les valeur de température varient de 512°C à 560°C.



**Figure 5.19:** variation de la pression de soutirage  $P_{s2}$  en fonction de  $P_g$  et  $T_g$

La pression de soutirage  $P_{s2}$  atteint des valeurs comprises entre 1.5 et 3.7 bar, lorsque  $P_g$  varie de 112 à 160 Bar, et  $T_g$  varie de 512 à 560°C. Il y a une variation quasi-linéaire et positive de  $P_{s2}$  à mesure que  $P_g$  augmente et  $T_g$  diminue.

Cette tendance indique que pour des valeurs de pression de générateur plus élevées et des températures de générateur plus basses, la pression de soutirage  $P_{s2}$  augmente. Cela peut être dû à une meilleure utilisation de l'énergie thermique à des températures plus basses, conduisant à une Optimiser  $P_g$  et  $T_g$  peut influencer significativement  $P_{s2}$ , ce qui peut avoir un impact sur le rendement global du système. Des valeurs plus élevées de  $P_{s2}$  peuvent indiquer un meilleur rendement thermique du cycle.

### 5.6.4. Variation de fraction massique $Y_{s1}$ en fonction

La figure 5.21 représente la variation de fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  en fonction de la température  $T_g$ , pression  $P_g$  du générateur de vapeur. Les valeurs de la pression varient de 112 bar à 160 bar et les valeur de température varient de 512°C à 560°C.

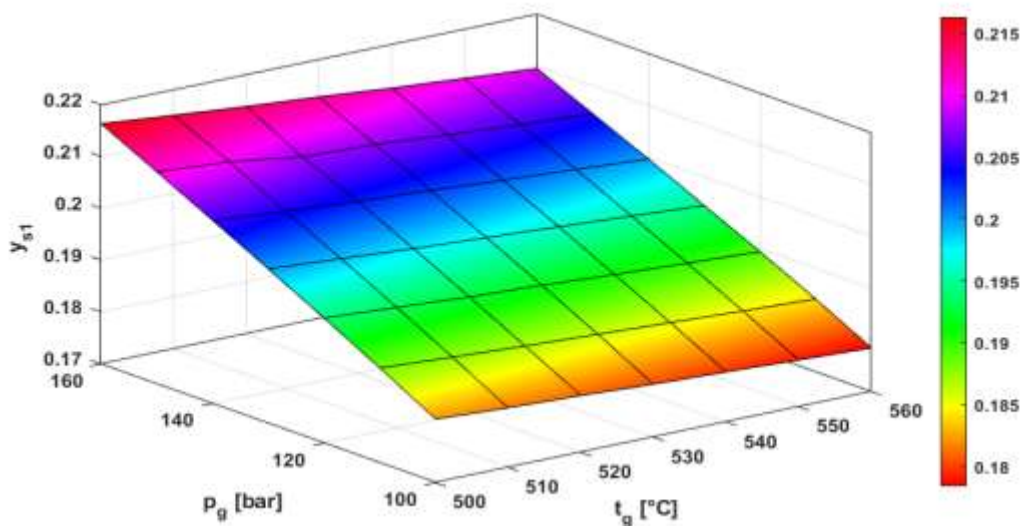


Figure 5.21 : Variation de fraction massique  $Y_{s1}$  en fonction de  $P_g$  et  $T_g$

La fraction massique  $Y_{s1}$  varie de 0.18 à 0.22 à mesure que  $P_g$  augmente de 112 à 160 Bar et  $T_g$  varie de 512 à 560°C C. L'augmentation de  $Y_{s1}$  peut être interprétée comme une extraction plus efficace de la vapeur à des températures plus basses, conduisant à une augmentation de la fraction massique. L'optimisation de  $P_g$  et  $T_g$  peut améliorer  $Y_{s1}$ , ce qui peut avoir un impact positif sur l'efficacité globale du système en augmentant la quantité de vapeur extraite.

5.6.5. Variation de fraction massique  $Y_{s2}$  en fonction de  $P_g$  et  $T_g$

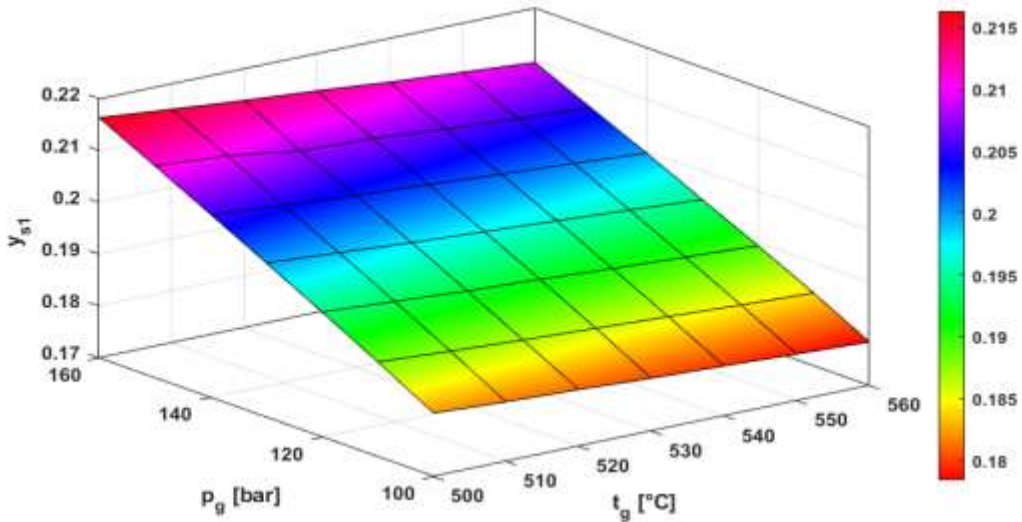


Figure 5.21 : Variation de fraction massique  $Y_{s1}$  en fonction de  $P_g$  et  $T_g$

La figure 5.21 représente la variation de fraction massique  $Y_{s2}$  en fonction de la température  $T_g$  et la pression  $P_g$  du générateur de vapeur. Les valeurs de la pression varient de 112 bar à 160 bar et les valeurs de température varient de 512°C à 560°C.

D'après l'analyse de cette figure on peut observer que la fraction massique  $Y_{s2}$  diminue avec l'augmentation de la température  $T_g$ . Au début, pour des valeurs basses de pression et de température la fraction massique  $Y_{s2}$  est relativement élevée, atteignant environ 0.13. Cependant, à mesure que la pression et la température augmentent,  $Y_{s2}$  diminue de manière significative, atteignant des valeurs aussi basses que 0.09.

Cette tendance peut être expliquée par le fait qu'une augmentation de la température et de la pression dans le générateur de vapeur favorise la transformation de la phase liquide en phase vapeur, augmentant ainsi l'efficacité du transfert de chaleur et réduisant la fraction massique résiduelle de liquide dans le mélange. Cela correspond également à une amélioration de la qualité de la vapeur, ce qui est un facteur crucial pour le bon fonctionnement des turbines à vapeur.

En conclusion, pour minimiser la fraction massique  $Y_{s2}$  et optimiser la qualité de la vapeur produite, il est crucial d'opérer à des pressions et températures élevées du générateur de vapeur. Cependant, il faut également prendre en compte les contraintes matérielles et économiques, car des conditions de fonctionnement trop extrêmes peuvent entraîner des coûts supplémentaires et des défis techniques.

5.6.6. Variation de Température de soutirage  $T_{s1}$  en fonction de  $P_g$  et  $T_g$

La figure 5.23 représente la variation de température de soutirage  $T_{s1}$  en fonction de la température  $T_g$ , pression  $P_g$  du générateur de vapeur. Les valeurs de la pression varient de 112 bar à 160 bar et les valeur de température varient de 512°C à 560°C.

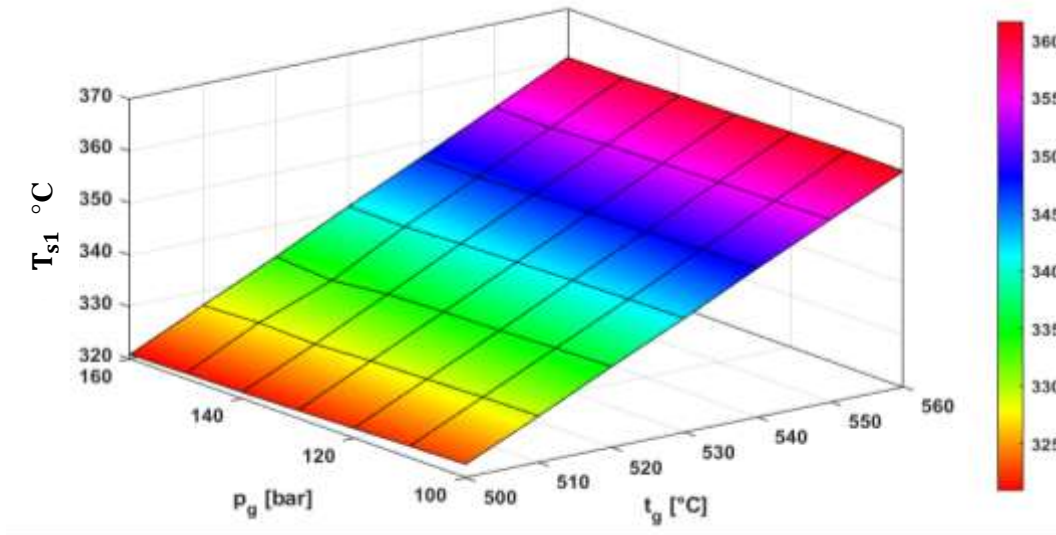


Figure 5.23 : La variation Température de soutirage  $T_{s1}$  en fonction de  $P_g$  et  $T_g$

On observe que la température de soutirage  $T_{s1}$  augmente de manière significative avec l'augmentation de la température et de la pression du générateur de vapeur. Plus précisément, les valeurs de  $T_{s1}$  sont les plus élevées (environ 370 °C) dans les conditions où la pression et la température sont maximales (160 bar et 560 °C). À l'inverse, les valeurs les plus basses de  $T_{s1}$  (environ 320 °C) se trouvent dans les conditions de pression et de température minimales (112 bar et 512 °C).

Cette augmentation de la température de soutirage avec l'élévation des paramètres  $P_g$  et  $T_g$  peut être expliquée par plusieurs facteurs thermodynamiques. Premièrement, une augmentation de la pression du générateur de vapeur signifie que la vapeur peut contenir plus d'énergie thermique à une température donnée, ce qui augmente la température de soutirage. Deuxièmement, une augmentation de la température du générateur de vapeur conduit directement à une vapeur plus chaude, ce qui se traduit également par une augmentation de la température de soutirage.

Ces résultats sont cohérents avec les attentes thermodynamiques : une pression plus élevée permet de conserver une plus grande quantité d'énergie thermique dans la vapeur, tandis qu'une température plus élevée de la vapeur augmente son enthalpie. Cela entraîne une augmentation de la température des flux de soutirage nécessaires pour maintenir un équilibre thermique efficace dans le système de turbine à vapeur.

5.6.8. La variation Température de soutirage  $T_{s2}$  en fonction de  $P_g$  et  $T_g$

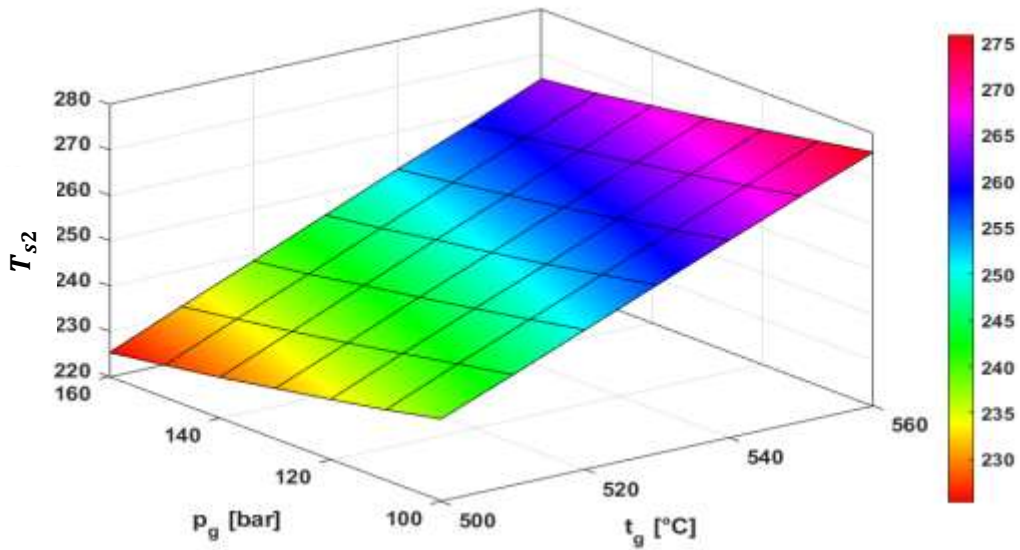


Figure 5.24 : La variation Température de soutirage  $T_{s2}$  en fonction de  $P_g$  et  $T_g$

La figure 5.24 représente la variation de température de soutirage  $T_{s2}$  en fonction de la température  $T_g$ , pression  $P_g$  du générateur de vapeur. Les valeurs de la pression varient de 112 bar à 160 bar et les valeur de température varient de 512°C à 560°C.

L'analyse de la figure 5.24 montre clairement que la température de soutirage  $T_{s2}$  augmente avec l'augmentation de la température  $T_g$  du générateur de vapeur. À pression constante, on observe que la température de soutirage  $T_{s2}$  augmente avec l'augmentation de la température du générateur de vapeur. Par exemple, à une pression constante de 120 bar,  $T_{s2}$  passe de 240 °C à 260 °C lorsque  $T_g$  augmente de 512 °C à 560 °C.

Une température plus élevée du générateur de vapeur signifie une enthalpie plus élevée de la vapeur produite, ce qui augmente la température de soutirage nécessaire pour transférer cette énergie.

À température constante, on observe que la température de soutirage  $T_{s2}$  diminue lorsque la pression du générateur de vapeur augmente. Par exemple, pour une température constante de 512 °C  $T_{s2}$  diminue de 250 °C à 230 °C lorsque  $P_g$  passe de 112 bar à 160 bar.

## 5.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré en détail la configuration et le fonctionnement d'une installation de turbine à vapeur équipée de deux soutirages, deux mélangeurs et deux turbines, fonctionnant à haute et basse pression. Le schéma de l'installation a été décrit, illustrant la circulation de l'eau et de la vapeur à travers les différents composants tels que les pompes, les mélangeurs et les

turbines. Ce schéma met en évidence le processus par lequel l'eau est pressurisée et chauffée pour produire de la vapeur à haute pression, essentielle à la production d'électricité. Une étude thermodynamique approfondie a été menée, comprenant les bilans massiques et énergétiques des différents composants du cycle, notamment les pompes et les réchauffeurs. Les équations de rendement de ces composants ont été établies, fournissant une compréhension claire des performances thermodynamiques de l'installation. De plus, les variations des paramètres de soutirage, telles que la fraction massique soutirée et les températures de soutirage en fonction de la pression et de la température du générateur de vapeur, ont été analysées. Ces analyses montrent l'impact des conditions de fonctionnement sur l'efficacité de l'extraction et de la récupération de chaleur. En outre, une optimisation du rendement en fonction des fractions massiques soutirées et des pressions de soutirage a été effectuée, révélant les conditions optimales pour maximiser le rendement du système. L'ensemble de ces analyses offre une compréhension approfondie des dynamiques et des performances d'une installation complexe de turbine à vapeur. Les résultats obtenus peuvent être utilisés pour améliorer les conceptions futures et optimiser les opérations des systèmes similaires dans un contexte industriel



---

## **Chapitre VI**

**Installation avec trois soutirages, et trois  
mélangeurs.**

---



# Chapitre VI

## Installation avec trois Soutirages et trois Mélangeurs

### 6 Chapitre VI : Installation avec resurchauffe et trois soutirages et trois mélangeurs.

#### 6.1 Description de Schéma d'installation.

Le schéma ci-dessous représente le cycle Installation avec trois soutirages, et trois mélangeurs.

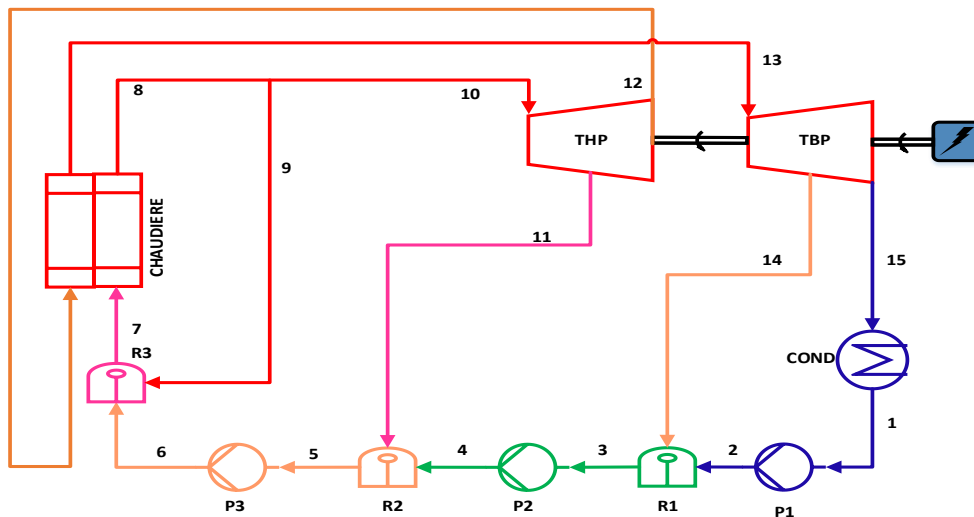


Figure 6.1 : Installation avec resurchauffe et trois soutirages et trois mélangeurs

La chaudière est le point de départ du processus. Elle est chargée de chauffer l'eau pour la transformer en vapeur à haute pression. La vapeur générée dans la chaudière est ensuite acheminée vers la turbine.

Première resurchauffe : Après être sortie de la chaudière, la vapeur est dirigée vers un premier resurchauffeur, où elle est chauffée à nouveau à une température élevée. Cette resurchauffe permet d'augmenter la température de la vapeur, ce qui améliore l'efficacité du cycle en augmentant la différence de température entre la vapeur et l'environnement de refroidissement.

Première turbine : La vapeur surchauffée est ensuite acheminée vers la première turbine. Cette turbine utilise la pression élevée de la vapeur pour générer de l'énergie mécanique, qui est transférée à un générateur électrique pour produire de l'électricité.

## Chapitre VI : Installation avec trois soutirages et trois mélangeurs.

Premier soutirage : Après avoir passé par la première turbine, une partie de la vapeur est soutirée à un niveau intermédiaire de pression. Ce soutirage peut être utilisé pour alimenter d'autres processus industriels ou pour préchauffer l'eau d'alimentation de la chaudière.

Deuxième resurchauffe : La vapeur provenant du premier soutirage est dirigée vers un deuxième resurchauffeur, où elle est chauffée à nouveau pour augmenter sa température avant de passer à la deuxième turbine.

Deuxième turbine : La vapeur surchauffée issue du deuxième resurchauffeur est acheminée vers la deuxième turbine, où elle est utilisée pour générer davantage d'énergie mécanique. Cette énergie est également transférée au générateur électrique pour produire de l'électricité.

Deuxième soutirage : Après être passée par la deuxième turbine, une autre partie de la vapeur est soutirée à un niveau de pression inférieur, ce qui permet de l'utiliser à des fins spécifiques.

Troisième resurchauffe : La vapeur provenant du deuxième soutirage est acheminée vers un troisième resurchauffeur pour une nouvelle élévation de température avant de passer à la troisième turbine.

Troisième turbine : La vapeur surchauffée provenant du troisième resurchauffeur est acheminée vers la troisième turbine, où elle est utilisée pour générer de l'énergie mécanique supplémentaire, qui contribue à augmenter la production totale d'électricité.

Troisième soutirage : Enfin, une dernière portion de la vapeur est soutirée à un niveau de pression encore plus bas, offrant une flexibilité supplémentaire pour répondre à divers besoins de production ou de chauffage.

### 6.2 Etude thermodynamique

Dans cette configuration, nous avons effectué une étude approfondie des bilans massique et énergétique liés à ce cycle.

#### 6.2.1 Les Pompes

Le tableau ci-dessous montre Bilans massiques et énergétiques des trois pompes.

Bilan	Massique	Energétique
1	$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_p$	$\dot{W}_{p1} = \dot{m}_p (h_2 - h_1)$
2	$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_p + \dot{m}_{s3}$	$\dot{W}_{p2} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_4 - h_3)$
3	$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 = \dot{m}_p + \dot{m}_{s2} + \dot{m}_{s3}$	$\dot{W}_{p3} = (\dot{m}_p + \dot{m}_{s2} + \dot{m}_{s3}) (h_6 - h_5)$

Tableau 6.1 : Bilans Massiques et Énergétiques des Pompes

- ▶ L'équation de rendement pour les trois pompes

$$W_{is} = \dot{m} \int v dp \quad (6.1)$$

$$\eta_p = \frac{W_{is}}{W_r} \quad (6.2)$$

$$W_r = \frac{\eta_p}{W_{is}} = \eta_p / \dot{m} \int v dp \quad (6.3)$$

- ▶ Pour les deux pompes le rendement  $\eta_p = 65\%$

## 6.2.2 Réchauffeur par mélangeur

### ➡ Pour 1<sup>er</sup> Réchauffeur (2-3) :

- ▶ Le bilan de masse de la premier Réchauffeur s'écrit :

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_p \quad \dot{m}_3 = \dot{m}_p + \dot{m}_{s3} \quad \dot{m}_{14} = \dot{m}_{s3} \quad (6.4)$$

- ▶ Le bilan d'énergie :

$$\dot{m}_p h_2 + \dot{m}_{s3} h_{14} = (\dot{m}_p + \dot{m}_{s3}) h_3 \quad (6.5)$$

$$y_3 = \frac{(\dot{h}_3 - \dot{h}_2)(1 - y_1 - y_2)}{(\dot{h}_{14} - \dot{h}_2)} \quad (6.6)$$

### ➡ Pour 2<sup>ème</sup> Réchauffeur (4-5) :

- ▶ Le bilan de masse de la deuxième Réchauffeur s'écrit :

$$\dot{m}_4 = \dot{m} - \dot{m}_{s1} \quad \dot{m}_5 = \dot{m} \quad , \quad \dot{m}_8 = \dot{m}_{s1} \quad (6.7)$$

- ▶ Le bilan d'énergie :

$$(\dot{m} - \dot{m}_{s1}) h_4 + \dot{m}_{s1} h_8 = \dot{m} h_5 \quad (6.8)$$

$$y_2 = \frac{(\dot{h}_5 - \dot{h}_4)(1 - y)}{(\dot{h}_{11} - \dot{h}_4)} \quad (6.9)$$

➔ Pour 3<sup>ème</sup> Réchauffeur (6-7) :

▶ Le bilan de masse de la Réchauffeur s'écrit :

$$\dot{m}_4 = \dot{m} - \dot{m}_{s1} \quad \dot{m}_5 = \dot{m} \quad , \quad \dot{m}_8 = \dot{m}_{s1} \quad (6.10)$$

▶ Le bilan d'énergie :

$$(\dot{m} - \dot{m}_{s1}) h_4 + \dot{m}_{s1} h_8 = \dot{m} h_5 \quad (6.11)$$

$$y = \frac{(h_5 - h_4)}{(h_8 - h_4)} \quad (6.12)$$

### 6.2.3 La chaudière

▶ Le bilan de masse de la chaudière : s'écrit :

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_6 = \dot{m} \quad (6.13)$$

▶ Le bilan d'énergie :

$$\dot{m} h_6 + \dot{Q}_C = \dot{m} h_7 \quad (6.14)$$

▶ D'où la chaleur consommée par la chaudière est calculée par :

$$\dot{Q}_C = \dot{m} (h_7 - h_6) \quad (6.15)$$

### 6.2.4 Turbine

➔ Turbine : (HP)

▶ Le bilan de massique :

$$\dot{m}_{10} = \dot{m} - \dot{m}_{s1} \quad , \quad \dot{m}_{11} = \dot{m}_{s2} \quad , \quad \dot{m}_{12} = \dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2} \quad (6.16)$$

▶ Le bilan d'énergie :

$$\dot{W}_T = \dot{W}_{t1} + \dot{W}_{t2} \quad (6.17)$$

$$\dot{W}_{t1} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_{10} - h_{11}) \quad (6.18)$$

$$\dot{W}_{t2} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2}) (h_{11} - h_{12}) \quad (6.19)$$

$$\dot{W}_{BP} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_{10} - h_{11}) + (\dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2}) (h_{11} - h_{12}) \quad (6.20)$$

➔ **J. Turbine : (BP)**

- ▶ Le bilan de massique :

$$\dot{m}_{13} = \dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2} \quad , \quad \dot{m}_{14} = \dot{m}_{s3} \quad , \quad \dot{m}_9 = \dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2} - \dot{m}_{s3} \quad (6.21)$$

- ▶ Le bilan d'énergie :

$$\dot{W}_T = \dot{W}_{t1} + \dot{W}_{t2} \quad (6.22)$$

$$\dot{W}_{t1} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2}) (h_{13} - h_{14}) \quad (6.23)$$

$$\dot{W}_{t2} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2} - \dot{m}_{s3}) (h_{84} - h_{15}) \quad (6.24)$$

$$\dot{W}_{BP} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2}) (h_{13} - h_{14}) + (\dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2} - \dot{m}_{s3}) (h_{84} - h_{15}) \quad (6.25)$$

- ▶ Le rendement de la turbine à vapeur

$$\eta_t = \frac{W_r}{W_{is}} \quad (6.26)$$

$$W_r = W_{is} \eta_t \quad (6.27)$$

Avec le rendement de la turbine à vapeur  $\eta_t = 90 \%$

**6.2.5. Condenseur**

- ▶ Le bilan de massique

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{15} = \dot{m}_p \quad (6.28)$$

- ▶ Le bilan d'énergie :

$$\dot{m}_p h_{15} = \dot{Q}_{cd} + \dot{m}_p h_1 \quad (6.29)$$

$$\dot{Q}_{cd} = \dot{m}_p (h_{15} - h_1) \quad (6.30)$$

**6.3 Performance de cycle**

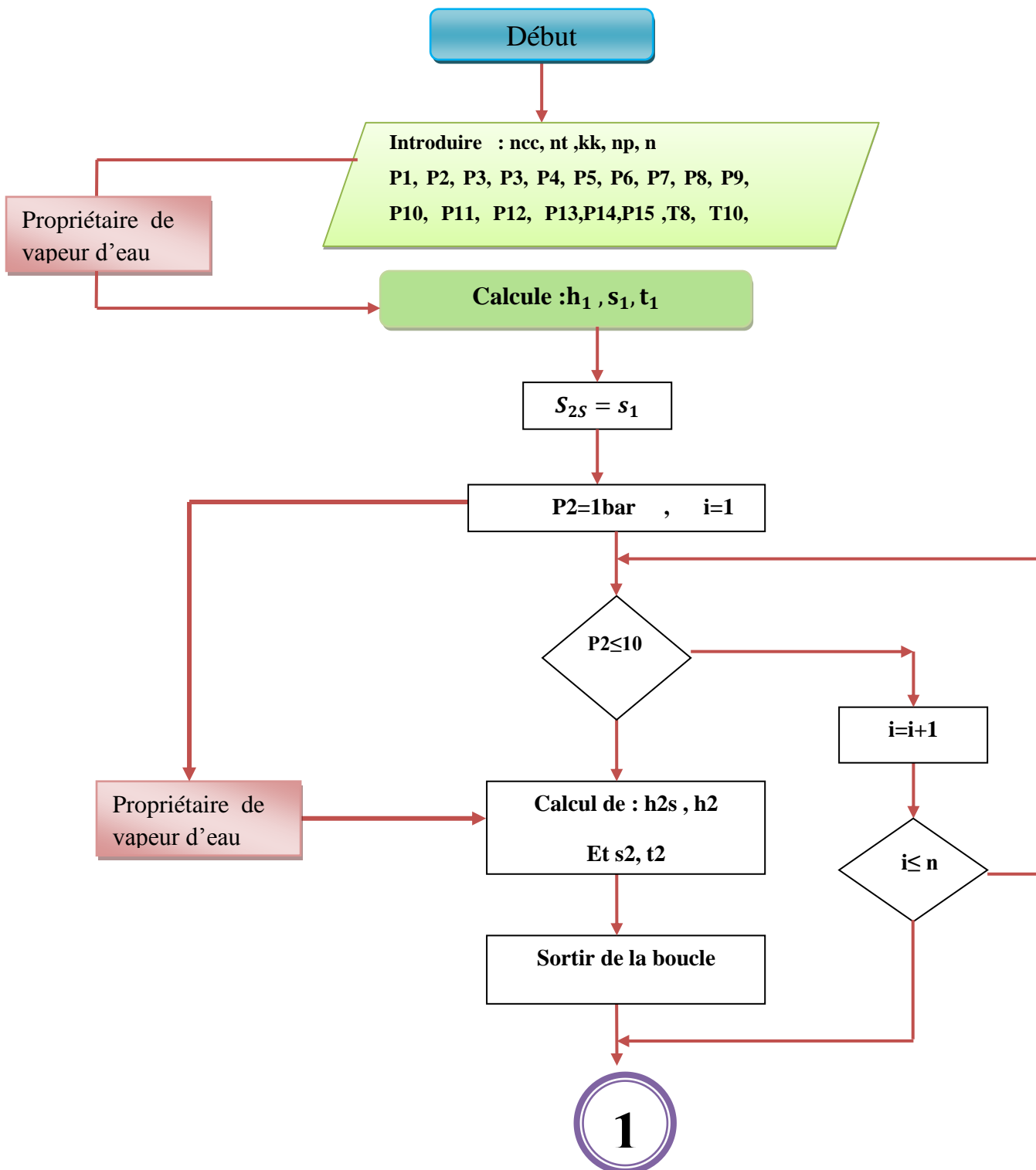
Le rendement de cycle avec installation avec resurchauffe et deux soutirages et deux mélangeurs

- ▶ Équation de rendement  $\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{cd}}$  avec  $\dot{W}_{net} = \dot{W}_{HP} + \dot{W}_{BP} - \dot{W}_{p1} - \dot{W}_{p2} - \dot{W}_{p3}$

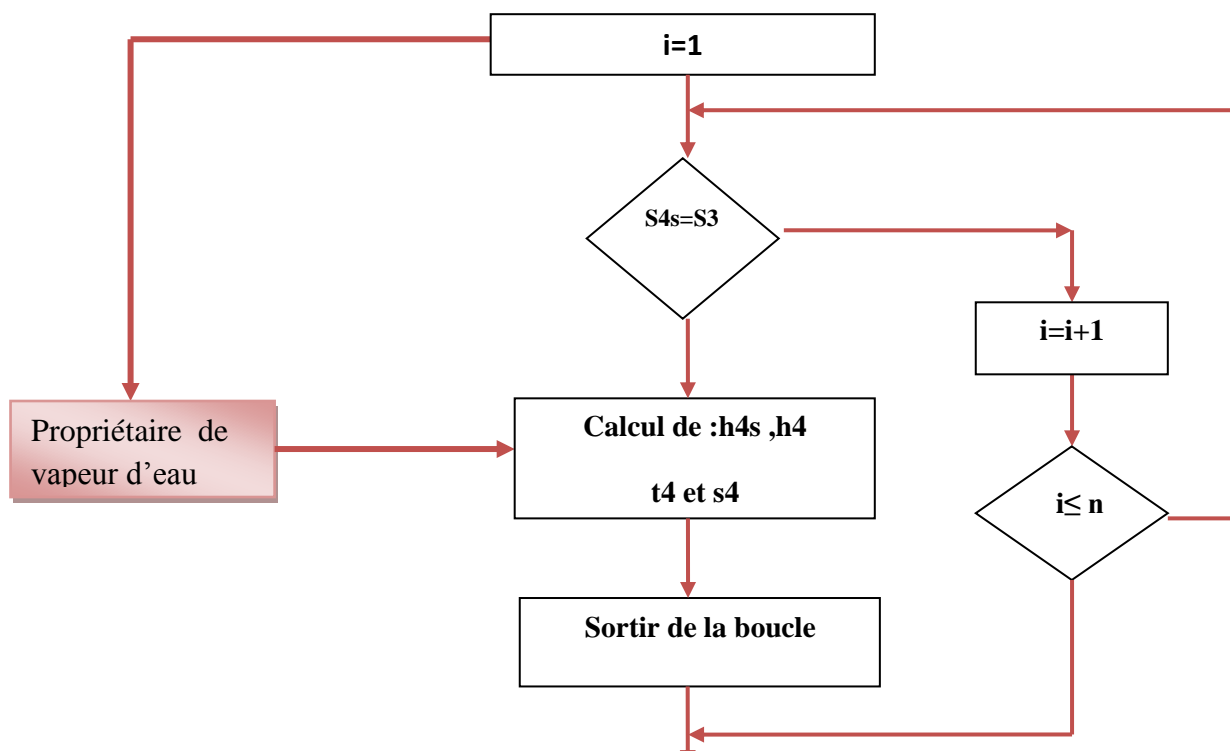
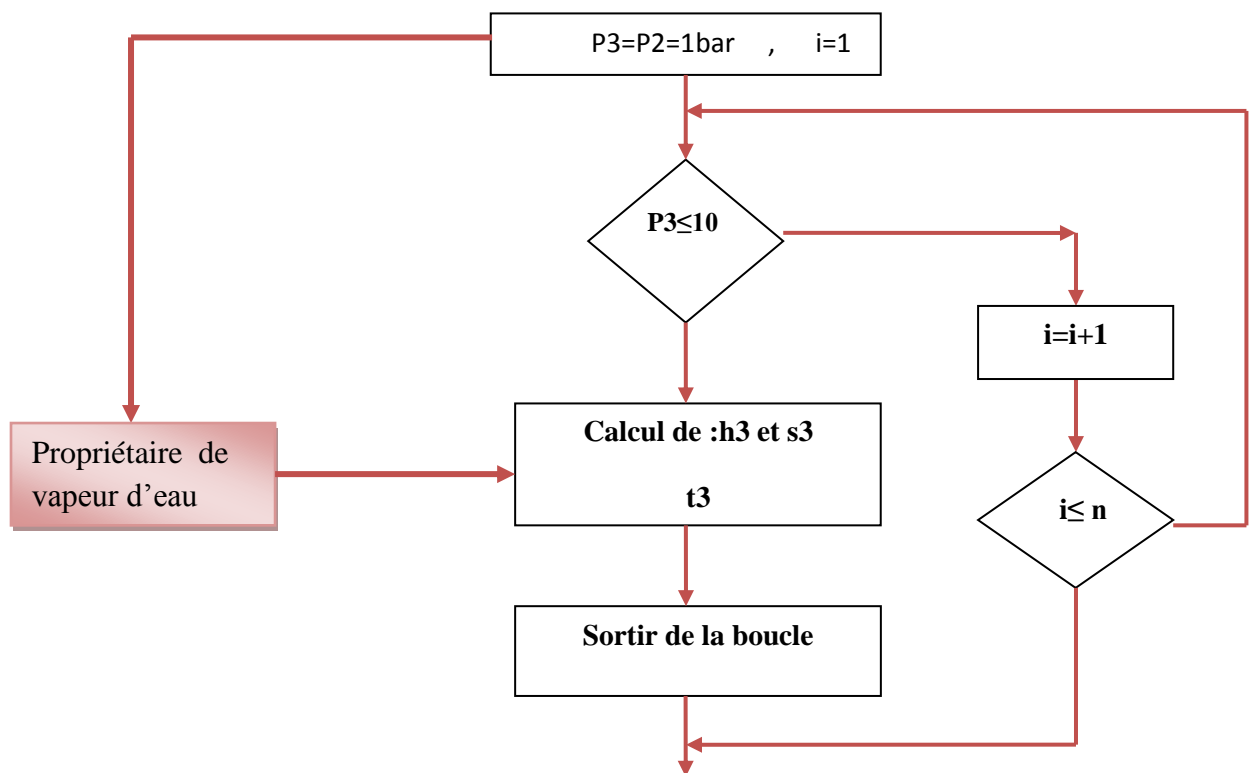
- ▶  $\eta_{th} = \frac{W_T - W_{p1} - W_{p2} - W_{p3}}{Q_{cd}}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{W}_{p1} = \dot{m}_p (h_2 - h_1) \\ \dot{W}_{p2} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_4 - h_3) \\ \dot{W}_{p3} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_6 - h_5) \\ \dot{W}_{HP} = \dot{m} (h_7 - h_8) + (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_8 - h_9) \\ \dot{W}_{BP} = (\dot{m} - \dot{m}_{s1}) (h_{10} - h_{11}) + (\dot{m} - \dot{m}_{s1} - \dot{m}_{s2}) (h_{11} - h_{12}) \\ \dot{W}_T = \dot{W}_{HP} + \dot{W}_{BP} \end{array} \right.$$

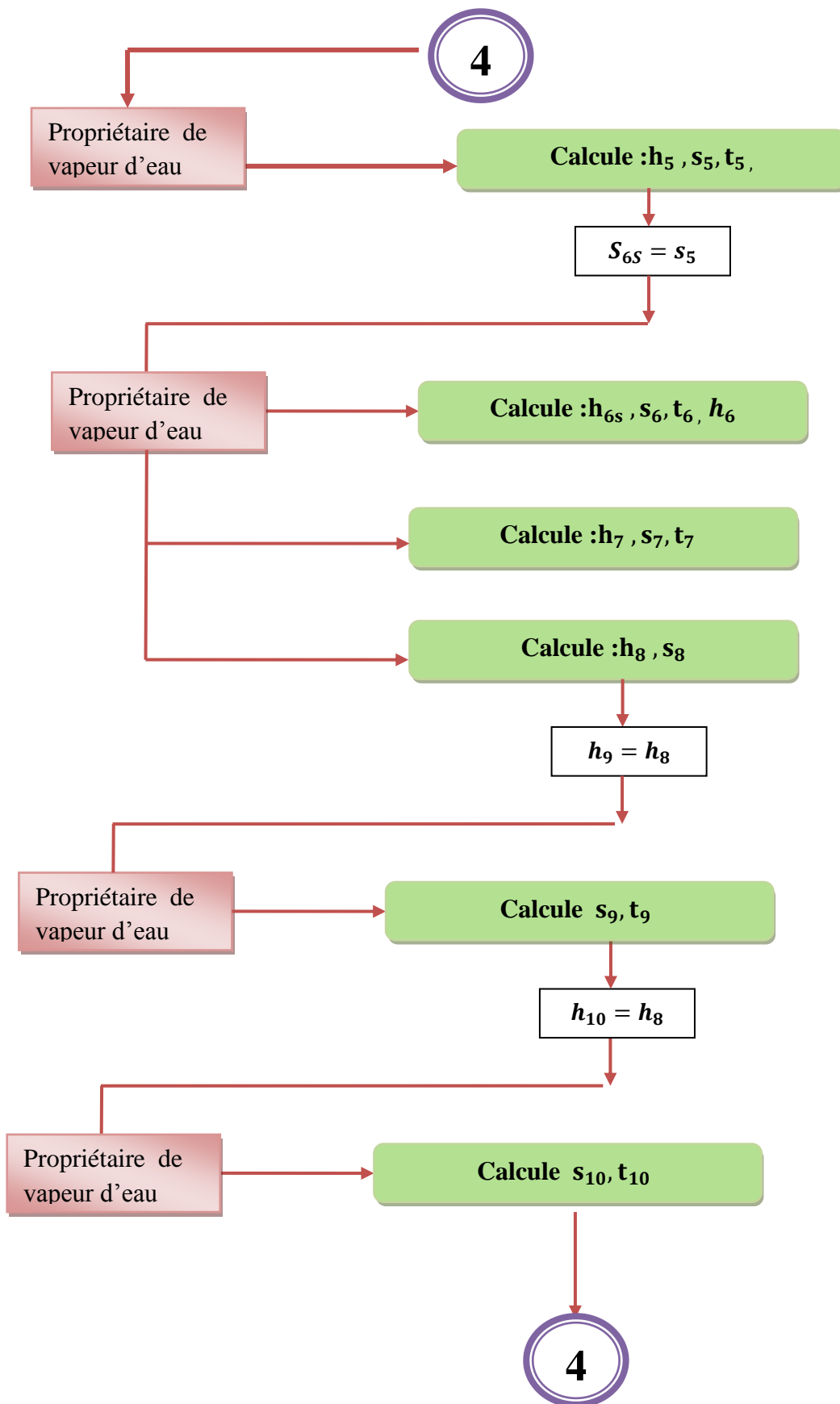
6.4 L'organigramme de calcul

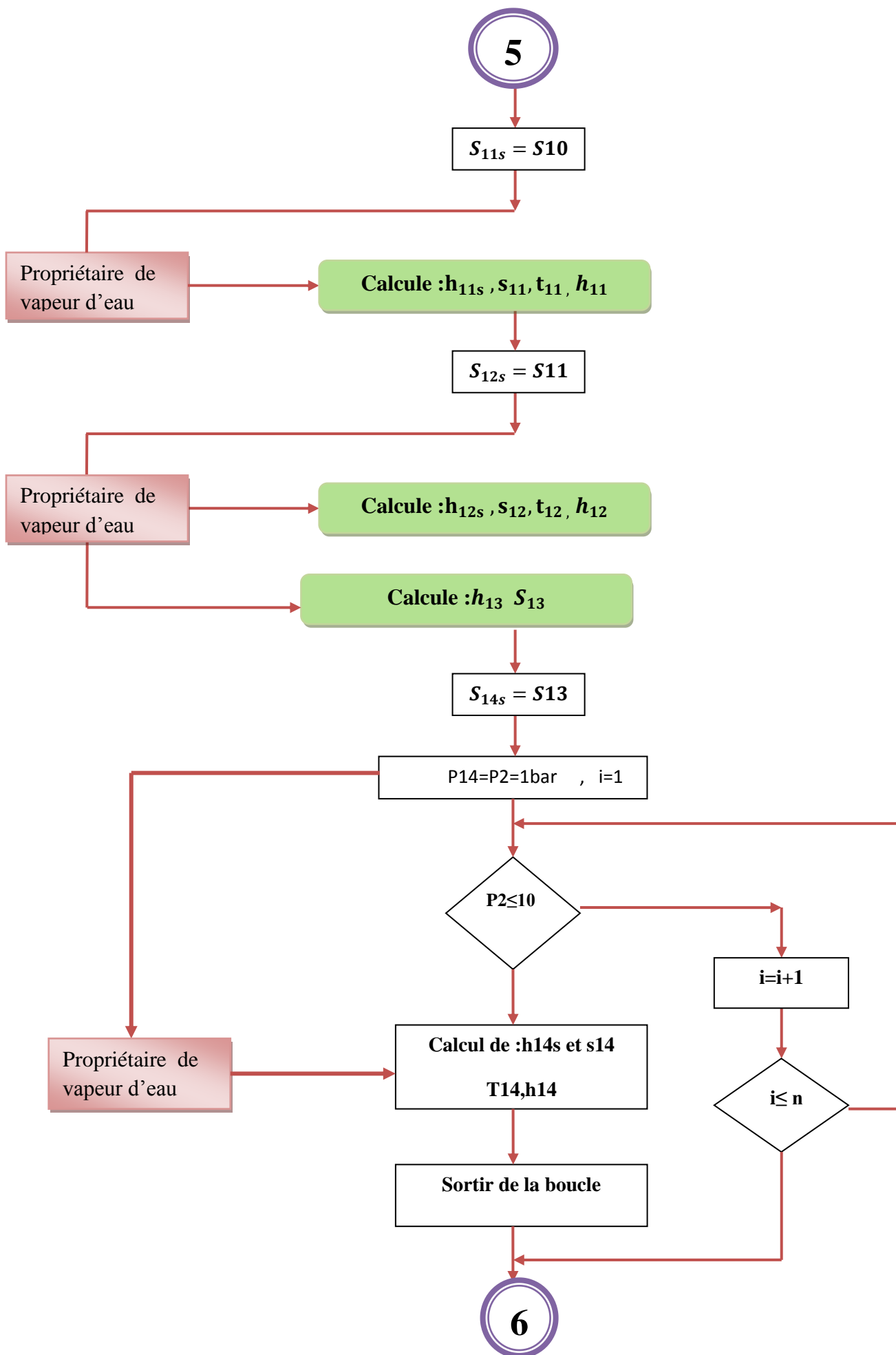


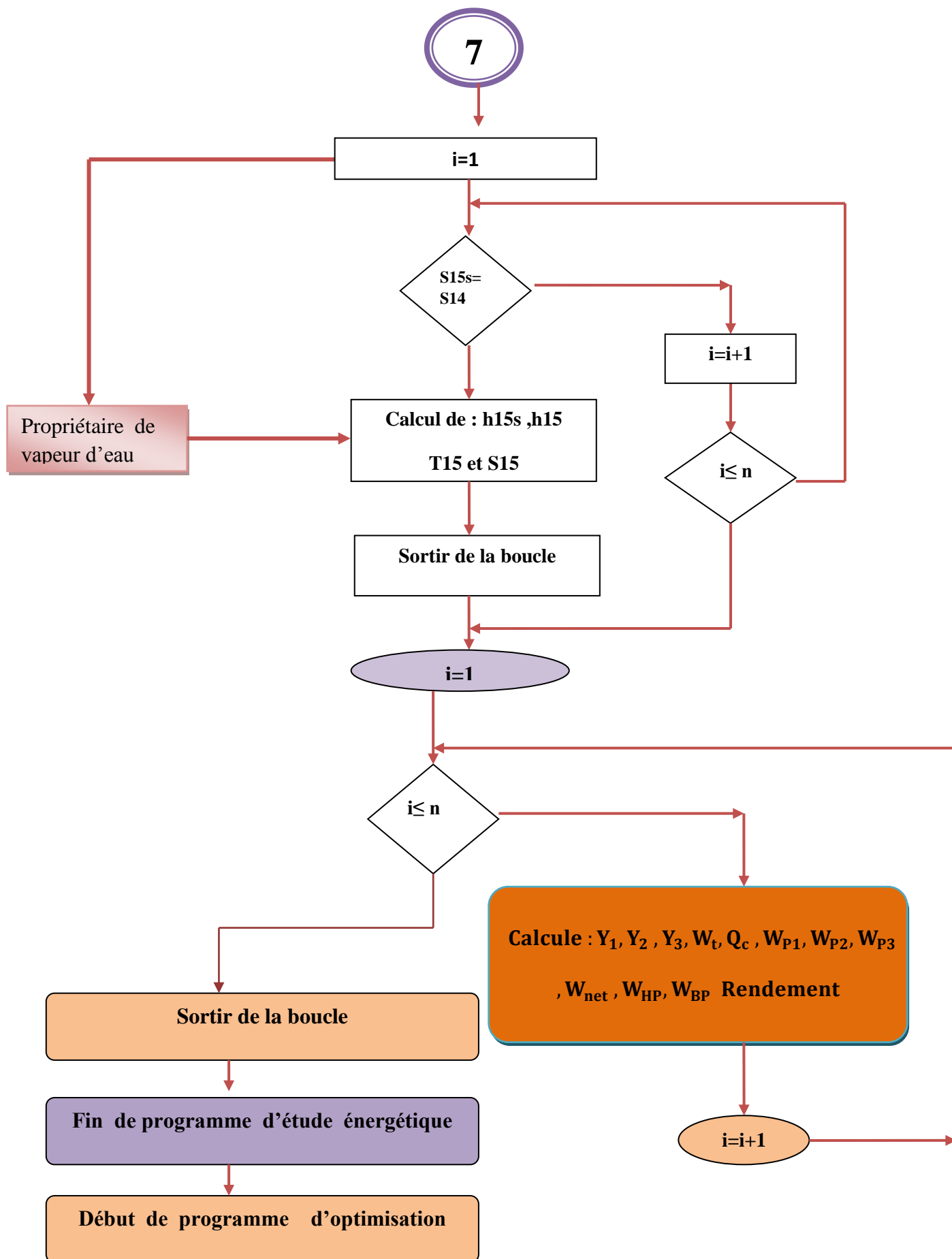
2

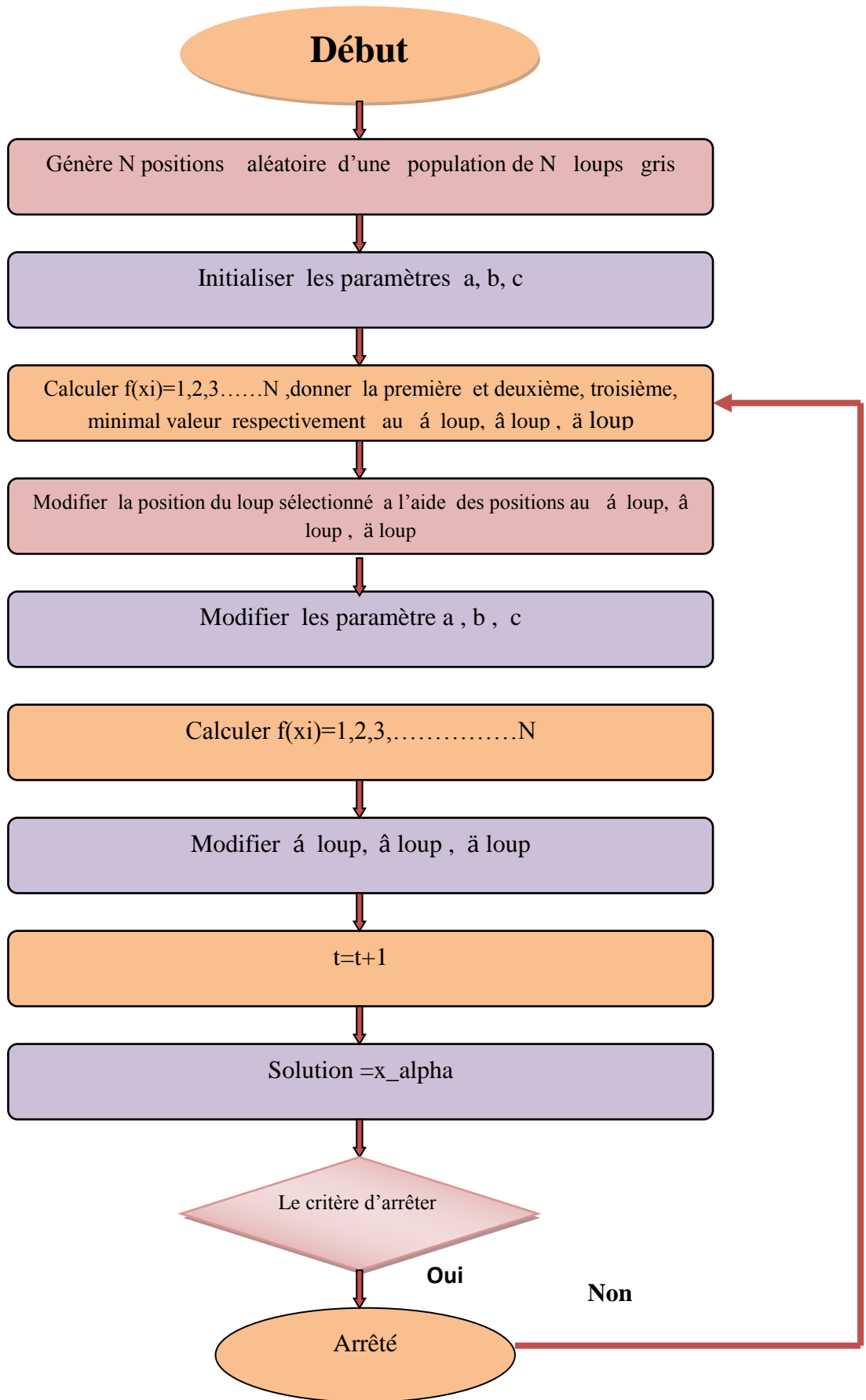


3









## 6.5 Le résultat de quatrième programme

### 6.5.1. Variation de rendement en fonction de trois fractions massiques soutirées $Y_{s1}$ et $Y_{s2}$ $Y_{s3}$

La figure 4.2 représente la variation de rendement en fonction de trois fractions massiques soutirées  $Y_{s1}$  et  $Y_{s2}$   $Y_{s3}$  avec la température et la pression de générateur de vapeur  $P_g = 140$  bar et  $T_g = 540$  °C et la pression de condenseur  $P_c = 0.05$  bar.

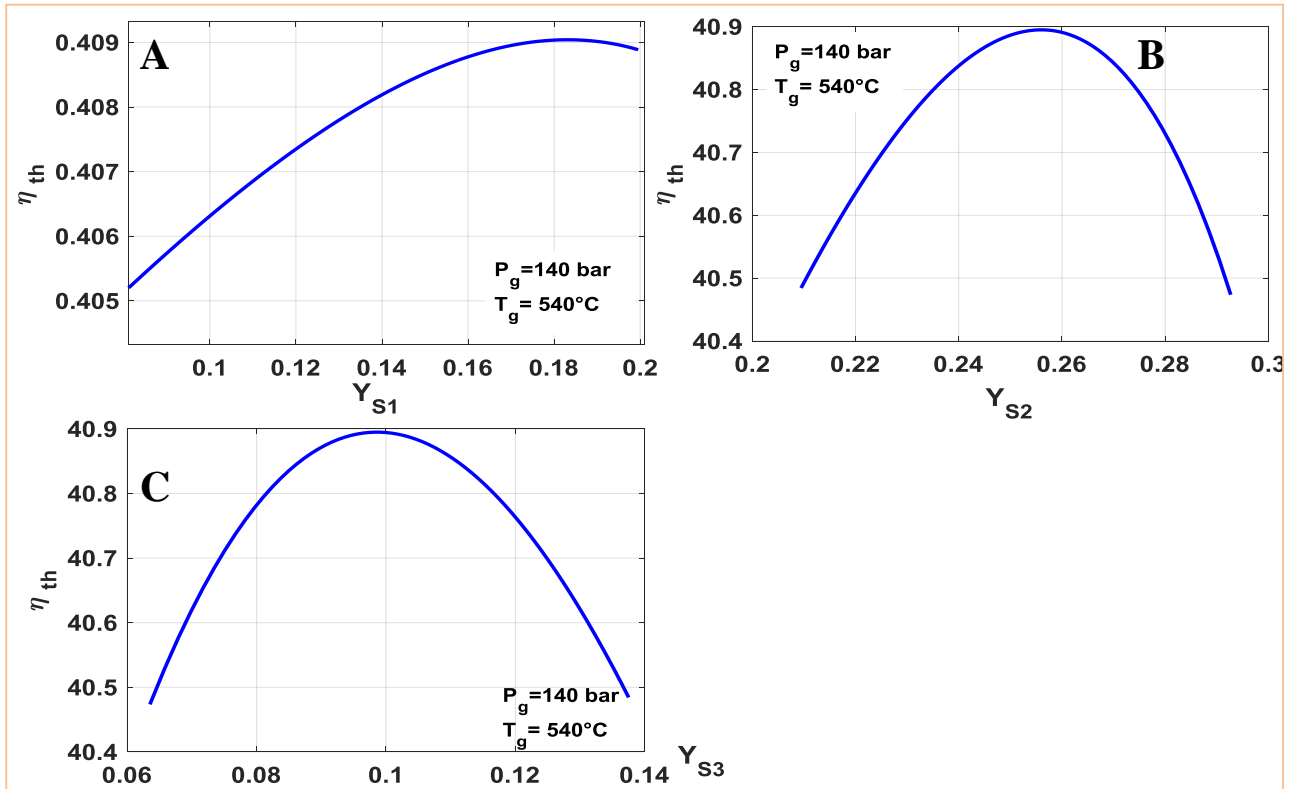


Figure 4.2: variation de rendement en fonction de trois fractions massiques soutirées  $Y_{s1}$  et  $Y_{s2}$   $Y_{s3}$

Figure (A) illustre la variation du rendement du système en fonction de fraction massiques soutirée  $Y_{s1}$  on constate que le rendement augmente jusqu'à atteindre un pic de 0.409% lorsque  $Y_{s1} = 0.18$ , qui correspond à la fraction massique soutirée pour un rendement optimal. Au-delà de cette valeur de  $Y_{s1}$ , le rendement diminue de manière significative.

Figure (B) illustre le rendement du système en fonction de fraction massiques soutirées  $Y_{s2}$  enregistre une augmentation progressive, pour atteindre une valeur maximale de 40.9 % pour  $Y_{s2} = 0.26$  qui correspond à la fraction massique soutirée pour un rendement optimal du système.

Le rendement tend à diminuer pour des valeurs de la fraction massique soutirée qui dépassent ce seuil.

Figure (C) présente l'évolution le rendement du système en fonction de fraction massique soutirée

$Y_{s3}$  enregistre une augmentation progressive, pour atteindre une valeur maximale de 40.9 pour  $Y_{s3} = 0.10$ , qui correspond à la fraction massique soutirée pour un rendement optimal du système. Le rendement tend à diminuer pour des valeurs de la fraction massique soutirée qui dépassent ce seuil.

### 6.5.2. La variation de rendement en fonction de trois pressions de soutirage $P_{s1}$ et $P_{s2}$ $P_{s3}$

La Figure 4.3 illustre la variation du rendement en fonction de trois pressions de soutirage  $P_{s1}, P_{s2}, P_{s3}$  avec la température et la pression de générateur de vapeur  $P_g = 140$  bar et  $T_g = 540$  °C et la pression de condenseur  $P_c = 0.05$  bar.

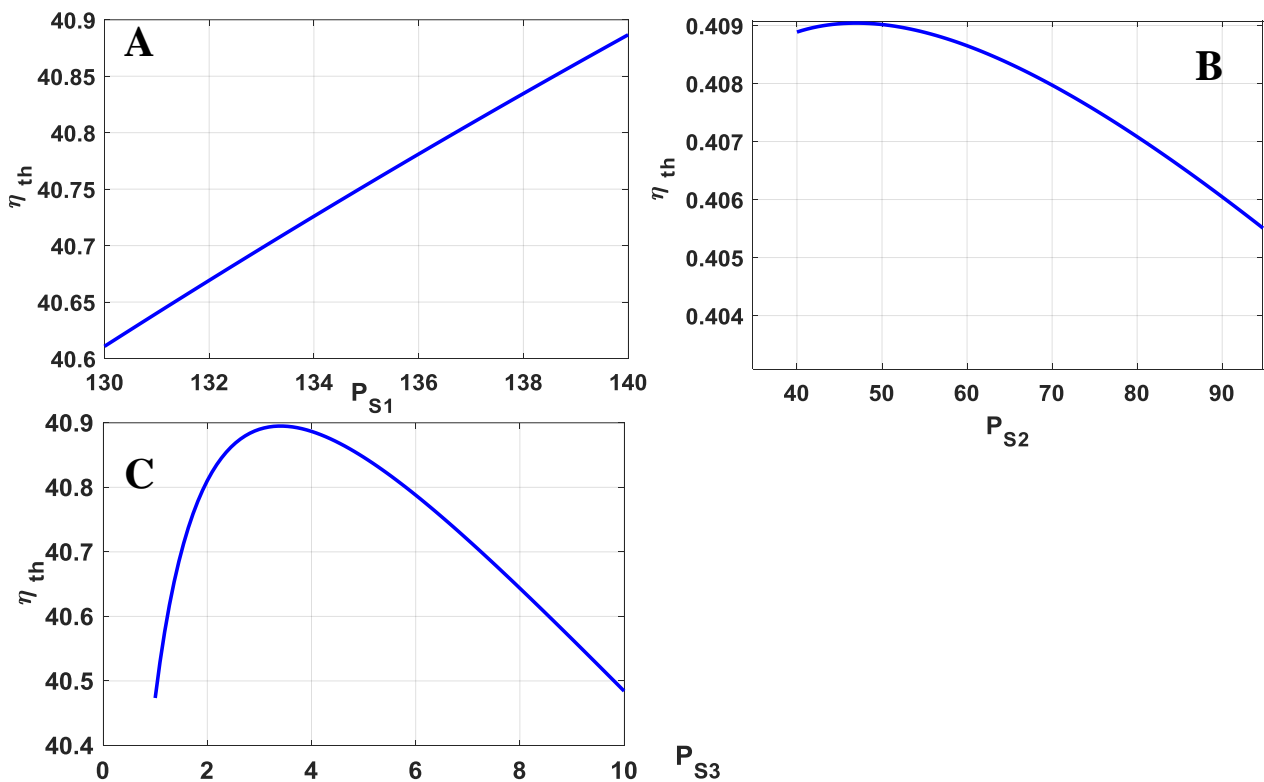


Figure 4.3: La variation de rendement en fonction de trois pressions de soutirage  $P_{s1}$  et  $P_{s2}$   $P_{s3}$

Figure (A) présente l'évolution la variation du rendement en fonction des pressions de soutirage  $P_{s1}$ , on remarque que le rendement Augmente de manière quasi linéaire et atteint un pic de 40.85 % lorsque  $P_{s1} = 140$  bar, qui correspondent à la pression de soutirage pour un rendement maximal du système dans la plage de valeurs considérées.

Figure (B) montre la variation du rendement en fonction des pressions de soutirage  $P_{s2}$ , le rendement augmente progressivement avec la pression de soutirage, atteignant un maximum de 0.409 lorsque  $P_{s2} = 4.5$  bar, qui correspond à la pression de soutirage pour un rendement optimal du système, le rendement tend à diminuer pour des valeurs de  $P_{s2}$  plus élevées.

Figure (C) Le rendement du système en fonction de la pression de soutirage  $P_{s3}$  enregistre une augmentation progressive, pour atteindre une valeur maximale de 40.9 pour  $P_{s3} = 3.5$ , qui correspond à la pression de soutirage pour un rendement optimal du système. Le rendement tend à diminuer pour des valeurs de  $P_{s3}$  plus élevées.

**6.5.3. La variation de rendement en fonction de trois températures de soutirage  $T_{s1}$ ,  $T_{s2}$ ,  $T_{s3}$**

La Figure 4.4 illustre la variation du rendement en fonction des températures de soutirage  $T_{s1}$  et  $T_{s2}$ ,  $T_{s3}$  avec la température et la pression de générateur de vapeur  $P_g = 140$  bar et  $T_g = 540$  °C et la pression de condenseur  $P_c = 0.05$  bar

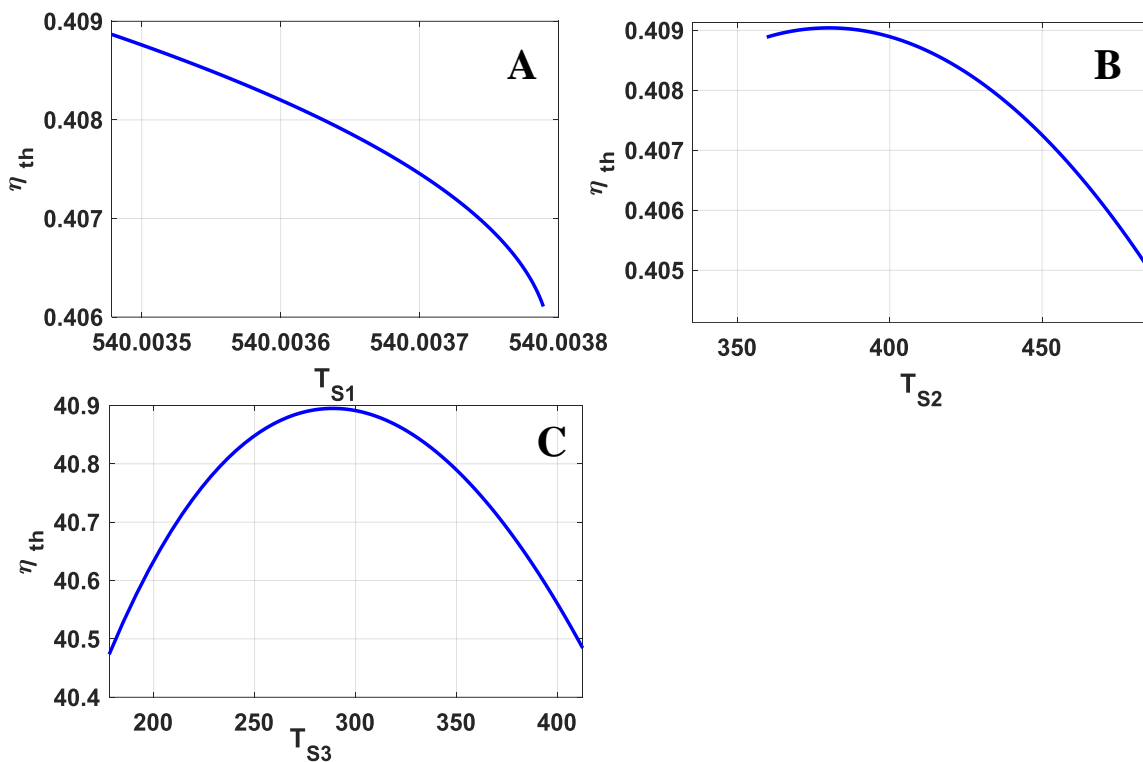


Figure 4.4: La variation de rendement en fonction de trois températures de soutirage  $T_{s1}$ ,  $T_{s2}$ ,  $T_{s3}$

Figure (a) : Le rendement du système en fonction de la température de soutirage  $T_{s1}$  enregistre une valeur maximale égale à 0.4085 pour  $T_{s1} = 540$  °C, cette température donne donc un rendement optimal du système. Au-delà de cette valeur de  $T_{s1}$ , le rendement diminue de manière progressive ce qui signifie que les valeurs au-delà  $T_{s1} = 540$  °C ont un effet négatif sur le rendement du système.

Figure (b) : Le rendement du système en fonction de la température de soutirage  $T_{s2}$  enregistre une valeur maximale de 0.409 pour  $T_{s2} = 375$ , qui correspond à la température de soutirage pour un rendement optimal du système. Le rendement tend à diminuer pour des valeurs de  $T_{s2}$  plus élevées, ce qui signifie que les valeurs au-delà  $T_{s1} = 375$  °C ont un effet négatif sur le rendement du système.

Figure (c) : Le rendement du système en fonction de la température de soutirage  $T_{s3}$  enregistre une augmentation, pour atteindre une valeur maximale de 40.9 pour  $T_{s3} = 275$ , qui correspond à la température de soutirage pour un rendement optimal du système. Le rendement tend à diminuer pour des valeurs de  $T_{s3}$  plus élevées.

**6.5.4. La variation des fractions massiques soutirée en fonction des pressions de soutirage**

La figure 4.5 représente la variation des fractions massiques soutirée en fonction des pressions de soutirage, avec la température et la pression de générateur de vapeur  $P_g = 140$  bar et  $T_g = 540$  °C et la pression de condenseur  $P_c = 0.05$  bar

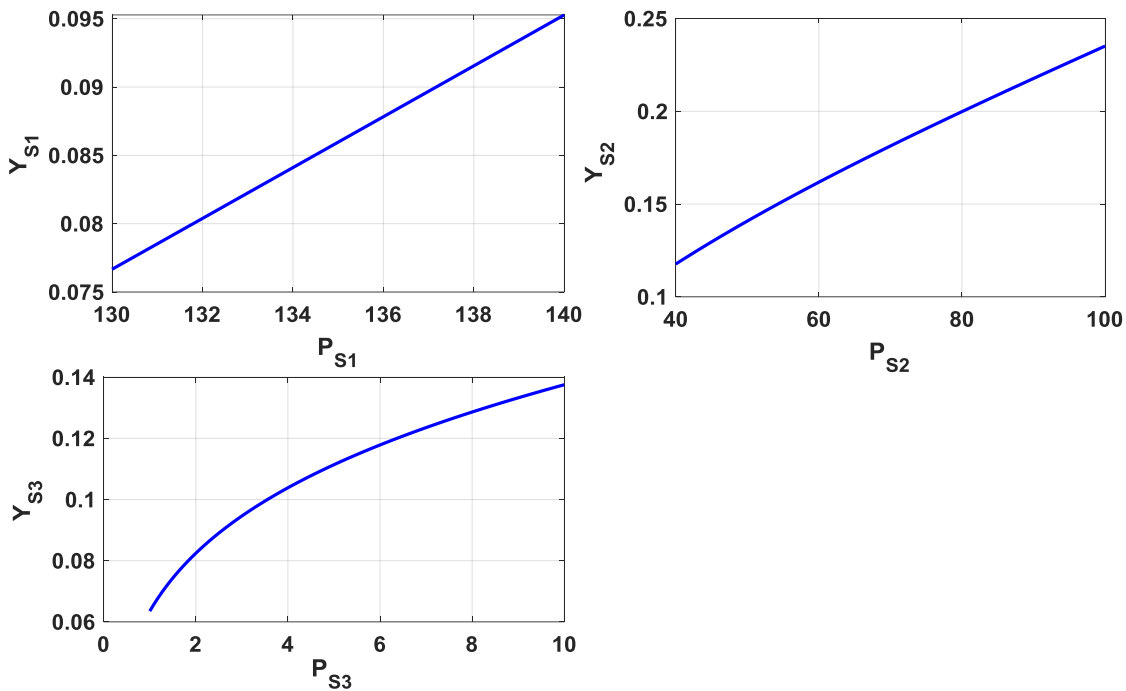


Figure 4.5: La variation de fraction massique soutirée en fonction de pression de soutirage

Figure (a) : Cette figure montre la courbe d'évolution de la fraction massique  $Y_{s1}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s1}$ . On enregistre une augmentation linéaire de  $y_{s1}$  de 0.075 à 0.095 pour des valeurs de  $P_{s1}$  allant de 130 à 140 [bar].

Figure (b) : Cette figure montre la courbe d'évolution de la fraction massique  $Y_{s2}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s2}$ . On enregistre une augmentation linéaire de  $Y_{s2}$  de 0.12 à 0.23 pour des valeurs de  $P_{s2}$  allant de 40 à 100 [bar].

Figure (c) Cette figure montre la courbe d'évolution de la fraction massique  $Y_{s3}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s3}$ . On enregistre une augmentation linéaire de  $Y_{s3}$  de 0.06 à 0.14 pour des valeurs de  $P_{s2}$  allant de 1 à 10 [bar].

6.5.5. La variation des températures de soutirage en fonction des pressions de soutirage

La figure 4.6 représente la variation des températures de soutirage en fonction des pressions de soutirage, avec la température et la pression de générateur de vapeur  $P_g = 140$  bar et  $T_g = 540$  °C et la pression de condenseur  $P_c = 0.05$  bar

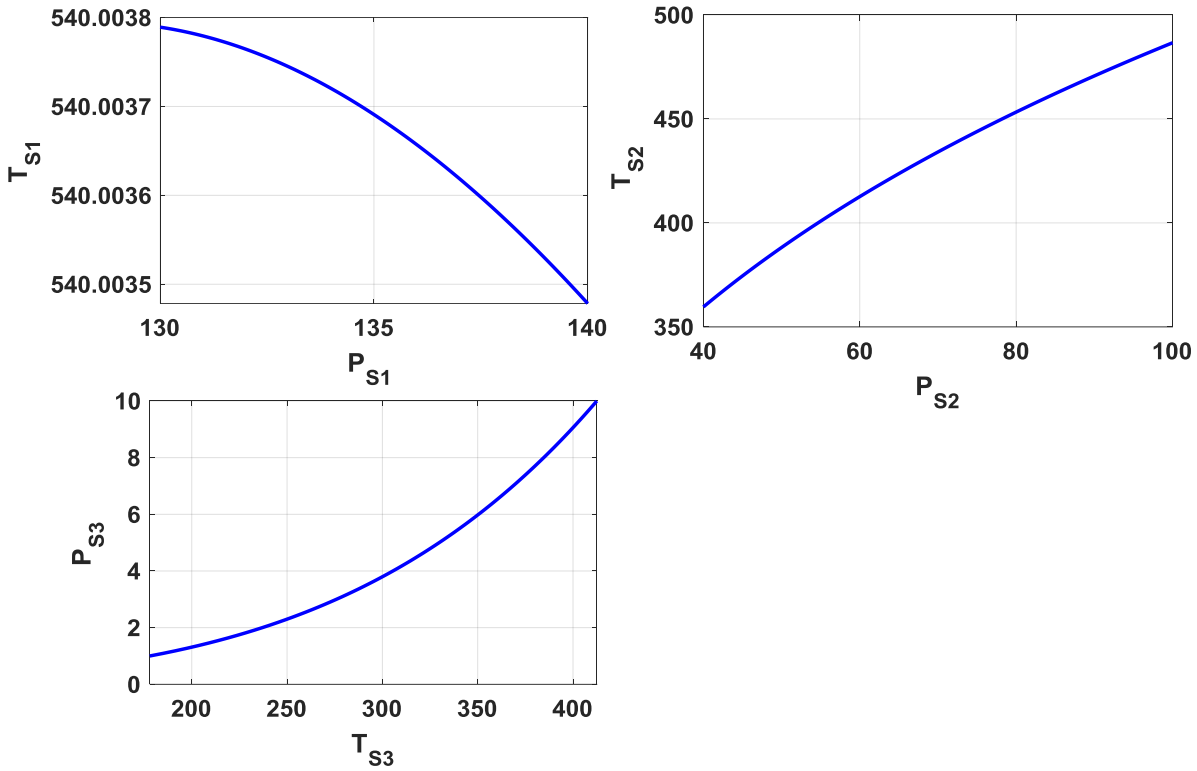


Figure 4.6: La variation des températures de soutirage en fonction des pressions de soutirage

Figure (a) : Cette figure montre la variation de la température de soutirage  $T_{s1}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s1}$ . Cette variation montre une diminution quasi-linéaire de  $T_{s1}$  en fonction de  $P_{s1}$ , allant de 540.0038 à 540.0035 °C pour  $P_{s1}$  allant de 130 à 140 [bar].

Figure (b) : Cette figure montre la variation de la température de soutirage  $T_{s2}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s2}$ . Cette variation montre une augmentation quasi-linéaire de  $T_{s2}$  en fonction de  $P_{s2}$ , allant de 350 à 500 °C pour  $P_{s2}$  allant de 40 à 100 [bar].

Figure (c) : Cette figure montre la variation de la température de soutirage  $T_{s3}$  en fonction de la pression de soutirage  $P_{s3}$ . Cette variation montre une augmentation quasi-linéaire de  $T_{s3}$  en fonction de  $P_{s3}$ , allant de 200 à 400 °C pour  $P_{s3}$  allant de 1 à 10 [bar].

**F. Les effets de fraction massique sur le rendement pour premier soutirage**

La figure 4.7 illustre les effets de la fraction massique sur le rendement pour le premier soutirage.

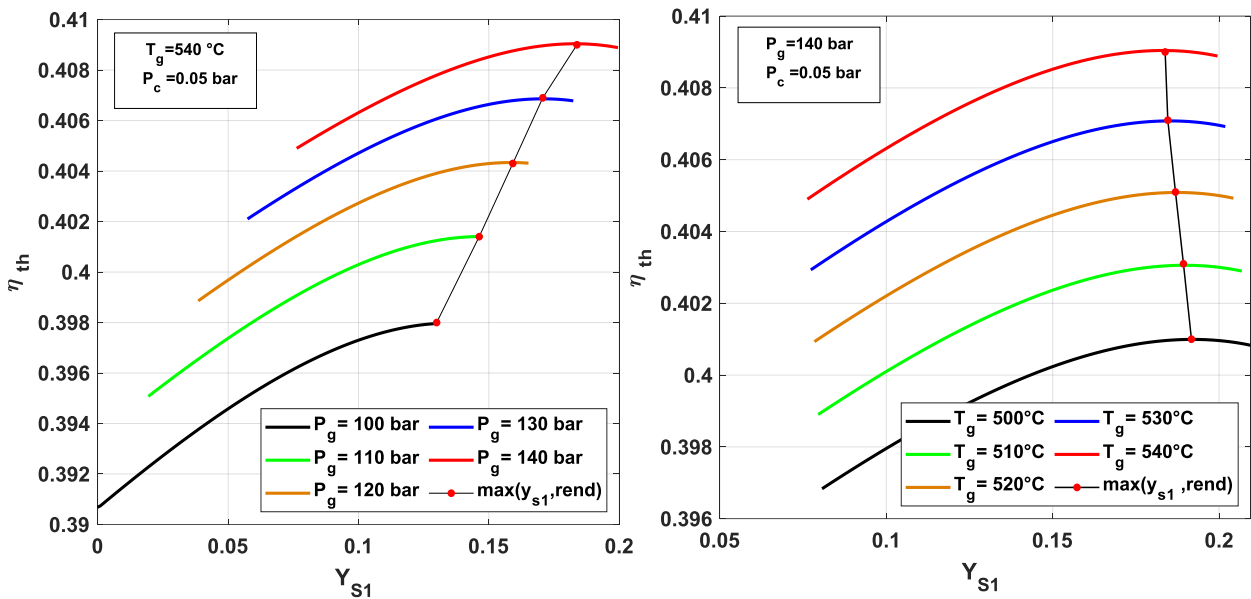


Figure 4.7: les effets de fraction massique sur le rendement pour premier soutirage

Figure (A) : Cette figure montre l’effet de la fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  sur le rendement pour des valeurs de pression du générateur différentes ( $P_g = 100$ [bar] ;  $P_g = 110$ [bar] ;  $P_g = 120$ [bar] ;  $P_g = 130$ [bar] ;  $P_g = 140$ [bar]). Nous constatons une augmentation du rendement, pour atteindre un rendement optimal à chaque fois dans la plage de  $Y_{s1}$  de 0.13 à 0.18. Au-delà de cette plage le rendement tend à diminuer.

Figure (B) : Cette figure montre l’effet de la fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  sur le rendement pour des valeurs différentes de la température de génération. On constate que le rendement augmente pour tous les cas de  $T_g$  en fonction de la fraction massique soutirée  $Y_{s1}$ , pour atteindre des valeurs maximales dans la plage des valeurs de  $Y_{s1}$  de l’ordre de 0.18. Au-delà de cette valeur, le rendement du système diminue progressivement en augmentant  $Y_{s1}$  quel que soit la température de génération.

**G. Les effets de fraction massique sur le rendement pour deuxième soutirage**

La figure 4.8 illustre les effets de la fraction massique sur le rendement pour deuxième soutirage, Dans le premier cas, En gardant la température de génération constante à 540 °C et en effectuant une augmentation de la pression de 100 bar à 140 bar. Pour le deuxième cas, la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de 500 °C à 540 °C

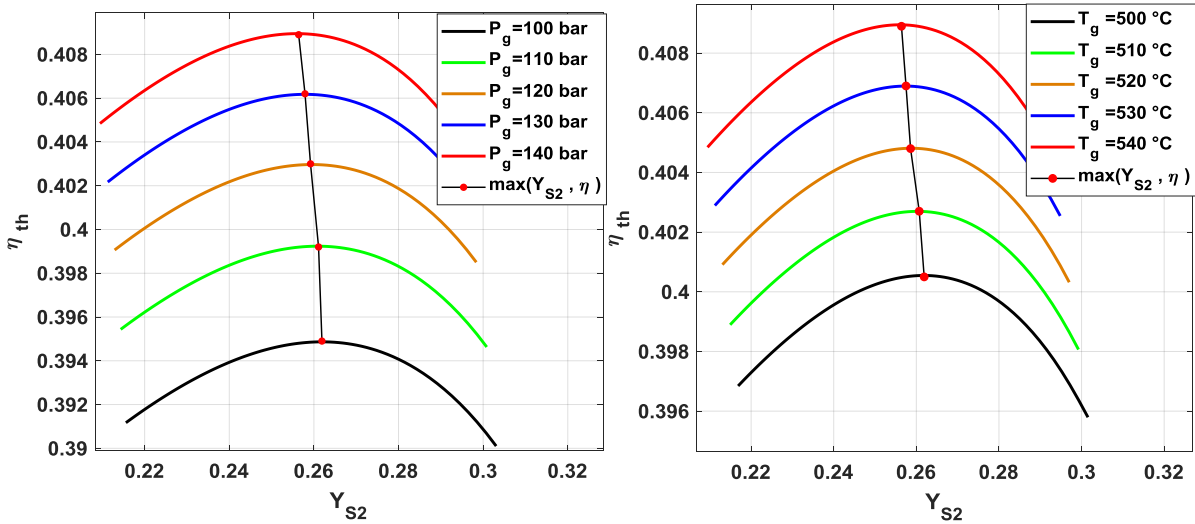


Figure 4.8: Les effets de fraction massique sur le rendement pour deuxième soutirage

Figure (a) : Cette figure montre l'effet de la fraction massique soutirée  $Y_{s2}$  sur le rendement pour des valeurs de pression du générateur différentes ( $P_g = 100[\text{bar}] ; P_g = 110[\text{bar}] ; P_g = 120[\text{bar}] ; P_g = 130[\text{bar}] ; P_g = 140[\text{bar}]$ ). Nous constatons une augmentation du rendement, pour atteindre un rendement optimal à chaque fois dans la plage de  $Y_{s2}$  de l'ordre de 0.26. Au-delà de cette plage le rendement tend à diminuer même si  $Y_{s2}$  augmente, et ce pour tous les cas des pressions du générateur.

Figure (b) : Cette figure montre l'effet de la fraction massique soutirée  $Y_{s2}$  sur le rendement pour des valeurs différentes de la température de génération ( $T_g = 500 \text{ °C} ; 510 \text{ °C} ; 520 \text{ °C} ; 530 \text{ °C} ; 540 \text{ °C}$ ); on constate que le rendement augmente pour tous les cas de  $T_g$  en fonction de la fraction massique soutirée  $Y_{s2}$ , pour atteindre des valeurs maximales dans la plage des valeurs de  $Y_{s2}$  de l'ordre de 0.26. Au-delà de cette valeur, le rendement du système diminue progressivement en augmentant  $Y_{s2}$  et ce pour toutes les valeurs de la température de génération.

#### H. Les effets de fraction massique sur le rendement pour troisième soutirage

La figure 4.8 illustre les effets de fraction massique sur le rendement pour troisième soutirage. Dans le premier cas, En gardant la température de génération constante à  $540 \text{ °C}$  et en effectuant une augmentation de la pression de 100 bar à 140 bar. Pour le deuxième cas, la pression de génération est maintenue constante à 140 bar et la température est augmentée de  $500 \text{ °C}$  à  $540 \text{ °C}$ .

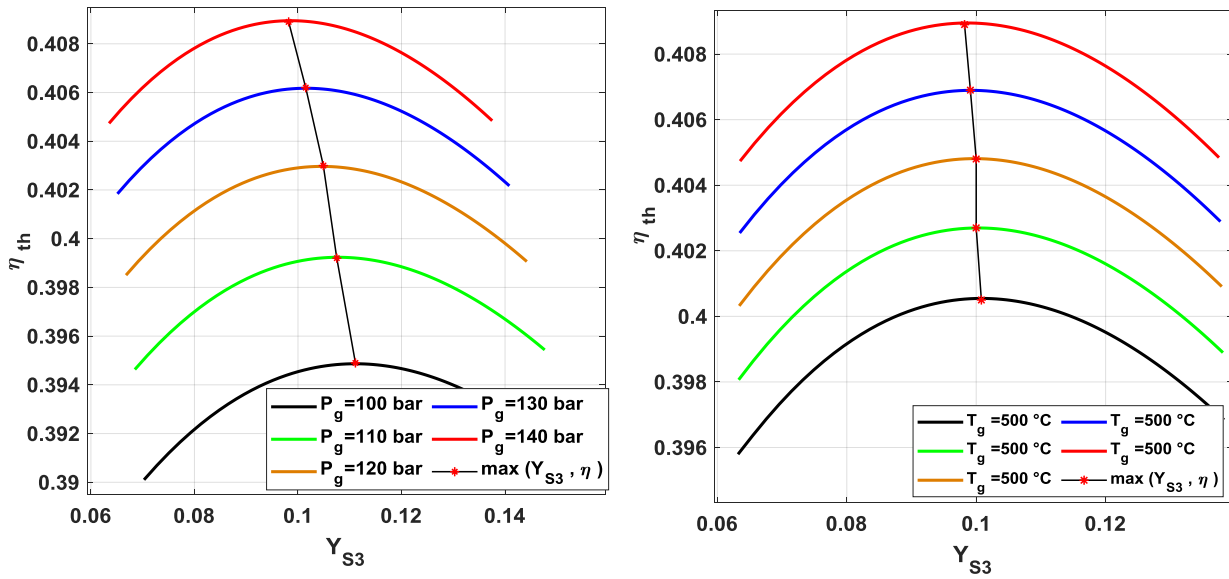


Figure 4.9: les effets de fraction massique sur le rendement pour troisième soutirage

Figure (a) : Cette figure montre l'effet de la fraction massique soutirée  $Y_{S3}$  sur le rendement pour des valeurs de pression du générateur différentes ( $P_g = 100[\text{bar}] ; P_g = 110[\text{bar}] ; P_g = 120[\text{bar}] ; P_g = 130[\text{bar}] ; P_g = 140[\text{bar}]$ ). Nous constatons une augmentation du rendement, pour atteindre un rendement optimal à chaque fois dans la plage de  $Y_{S2}$  de 0.09 à 0.11. Au-delà de cette plage le rendement tend à diminuer même si  $Y_{S3}$  augmente, et ce pour tous les cas des pressions du générateur.

Figure (b) : Cette figure montre l'effet de la fraction massique soutirée  $Y_{S3}$  sur le rendement pour des valeurs différentes de la température de génération ( $T_g = 500\text{ °C} ; 510\text{ °C} ; 520\text{ °C} ; 530\text{ °C} ; 540\text{ °C}$ ); on constate que le rendement augmente pour tous les cas de  $T_g$  en fonction de la fraction massique soutirée  $Y_{S3}$ , pour atteindre des valeurs maximales dans la plage des valeurs de  $Y_{S3}$  de l'ordre de 0.10. Au-delà de cette valeur, le rendement du système diminue progressivement en augmentant  $Y_{S2}$  et ce pour toutes les valeurs de la température de génération.

## 6.6. Les résultats d'optimisation

### 6.6.1. Variation du rendement en fonction de la température et de la pression du générateur

La figure 6.17 montre la variation du rendement d'une turbine à vapeur en fonction de la température  $T_g$ , et de la pression  $P_g$  du générateur de vapeur. Les valeurs de la pression varient de 112 bar à 160 bar et les valeur de température varient de 512°C à 560°C.

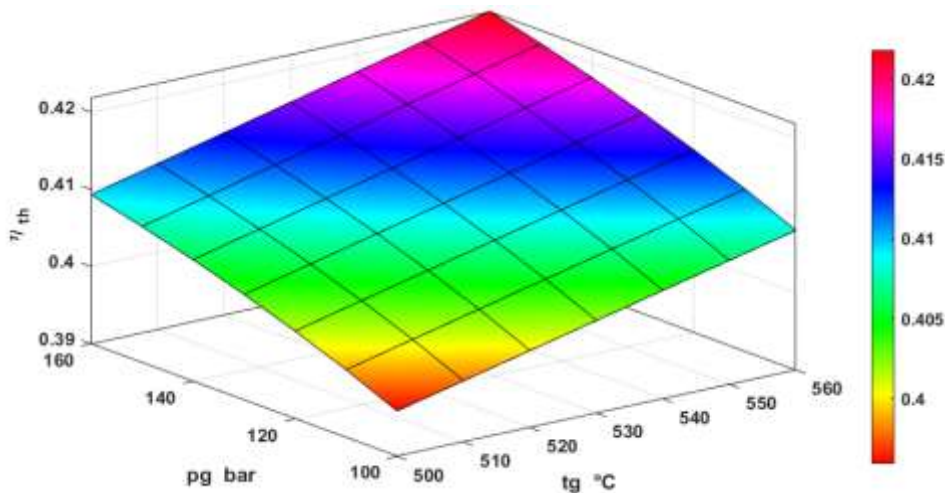


Figure 6.17: variation du rendement en fonction de température et pression du générateur de vapeur

On observe que le rendement thermique varie de 0.39 à 0.42 à mesure que  $P_g$  diminue de 160 à 112 Bar et la température du générateur de vapeur augmente de 512 à 560°C. Cette variation peut indiquer une meilleure conversion de chaleur en travail mécanique, augmentant ainsi l'efficacité globale du système. Le rendement thermique augmente avec  $T_g$ , indiquant une meilleure utilisation de la chaleur à des températures plus élevées, contribuant à l'amélioration de l'efficacité énergétique.

### 6.6.2. Variation de la pression de soutirage $P_{s2}$ de en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur.

La figure 6.18 représente la variation de pression de soutirage  $P_{s2}$  en fonction des paramètres du générateur de vapeur (pression et température). Les valeurs de la pression varient de 112 bar à 160 bar et les valeur de température varient de 512°C à 560°C.

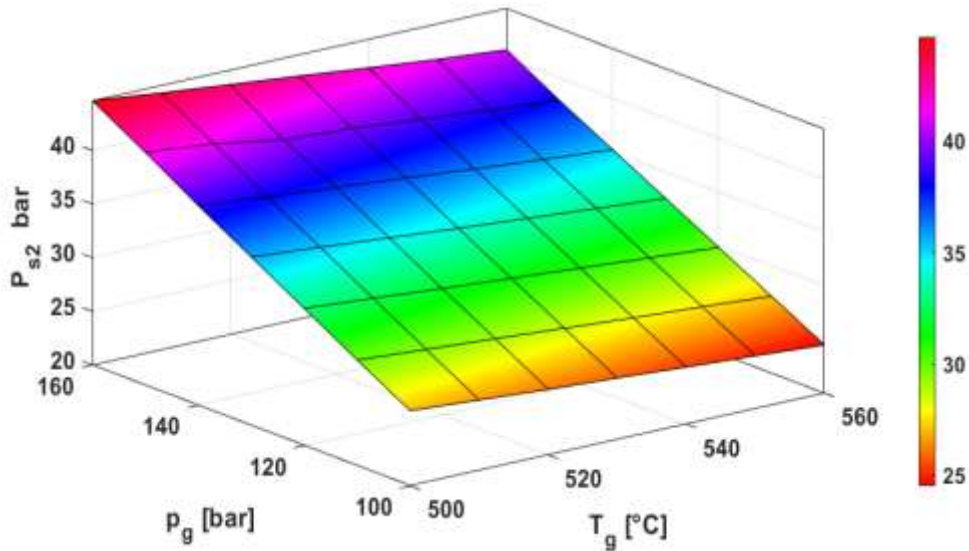


Figure 6.18: variation de la pression de soutirage  $P_{s1}$  en fonction de  $P_g$  et  $T_g$ .

La pression de soutirage  $P_{s2}$  varie de 20 à 45 bar , avec  $P_g$  varie de 112 à 160 Bar, et  $T_g$  varie de 512 à 560°C. L'augmentation de  $P_{s2}$  à mesure que  $T_g$  augmente peut-être due à une meilleure utilisation de la chaleur résiduelle à des températures plus élevées.  $P_{s2}$  augmente avec  $T_g$ , indiquant une récupération efficace de chaleur à des températures plus élevées, contribuant à l'efficacité globale du système.

### 6.6.3. Variation de la pression de soutirage $P_{s3}$ de en fonction de $P_g$ et $T_g$

La figure 6.19 montre Variation de la pression de soutirage  $P_{s3}$  en fonction de la température  $T_g$ , et de la pression  $P_g$  du générateur de vapeur. Les valeurs de la pression varient de 112 bar à 160 bar et les valeur de température varient de 512°C à 560°C.

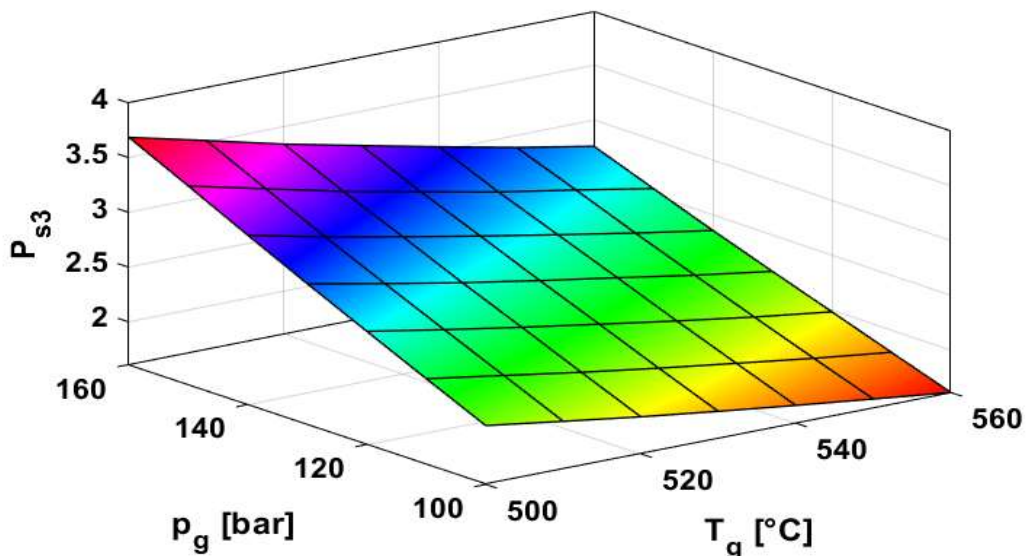
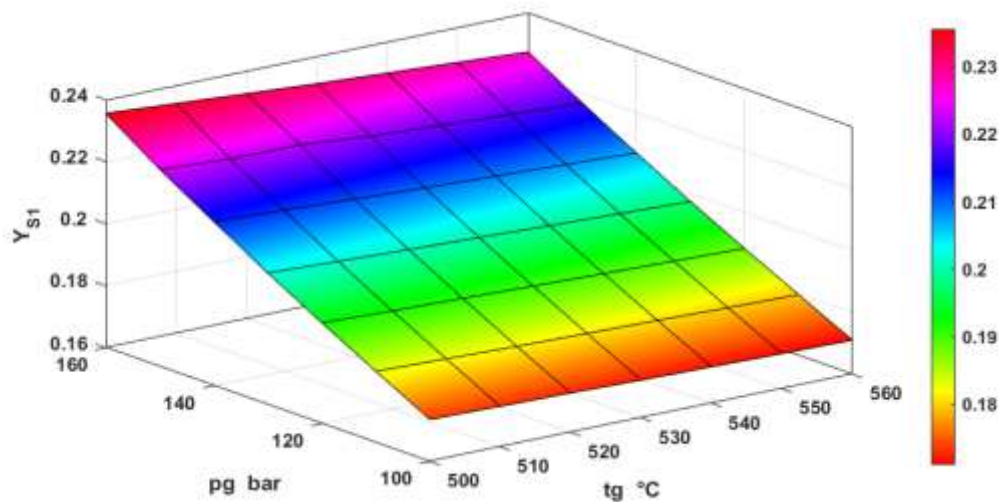


Figure 6.19: Variation de pression de soutirage  $P_{s3}$  en fonction de  $P_g$  et  $T_g$

La pression de soutirage  $P_{S3}$  varie de 1.8 à 3.6 bar avec  $P_g$  varie de 112 à 160 bar, et  $T_g$  varie de 512 à 560°C. Cette variation peut indiquer une meilleure récupération de chaleur à des températures plus élevées, conduisant à une augmentation de la pression du troisième soutirage.  $P_{S3}$  augmente avec  $T_g$ , suggérant une récupération efficace de chaleur à des températures plus élevées, ce qui peut améliorer l'efficacité du système

### 6.6.4. Variation de fraction massique $Y_{s1}$ en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur.

La figure 6.20 représente la variation de fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  en fonction de la température  $T_g$ , pression  $P_g$  du générateur de vapeur. . Les valeurs de la pression varient de 112 bar à 160 bar et les valeur de température varient de 512°C à 560°C.

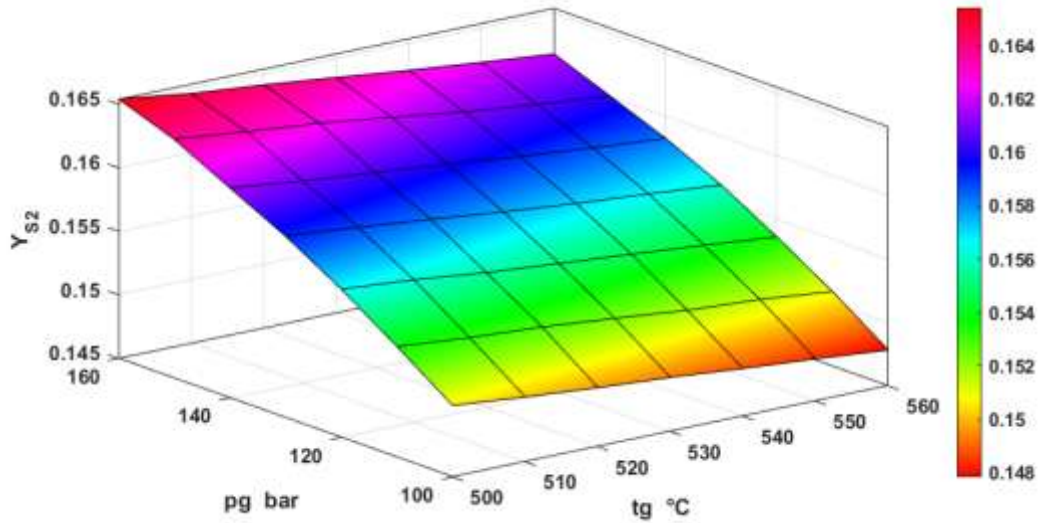


**Figure 6.20: Variation de fraction massique soutirée  $Y_{s1}$  En fonction de  $P_g$  et  $T_g$**

La fraction massique  $Y_{s1}$  varie de 0.18 à 0.22 à mesure que  $P_g$  augmente de 112 à 160 Bar et  $T_g$  varie de 512 à 560°C .Cette variation peut indiquer une meilleure récupération de chaleur à des températures plus élevées, conduisant à une augmentation de la fraction massique du premier soutirage.  $Y_{s1}$  augmente avec  $T_g$ , suggérant une récupération efficace de chaleur à des températures plus élevées, ce qui peut améliorer l'efficacité du système.

### 6.6.5. Variation de fraction massique $Y_{s2}$ en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur

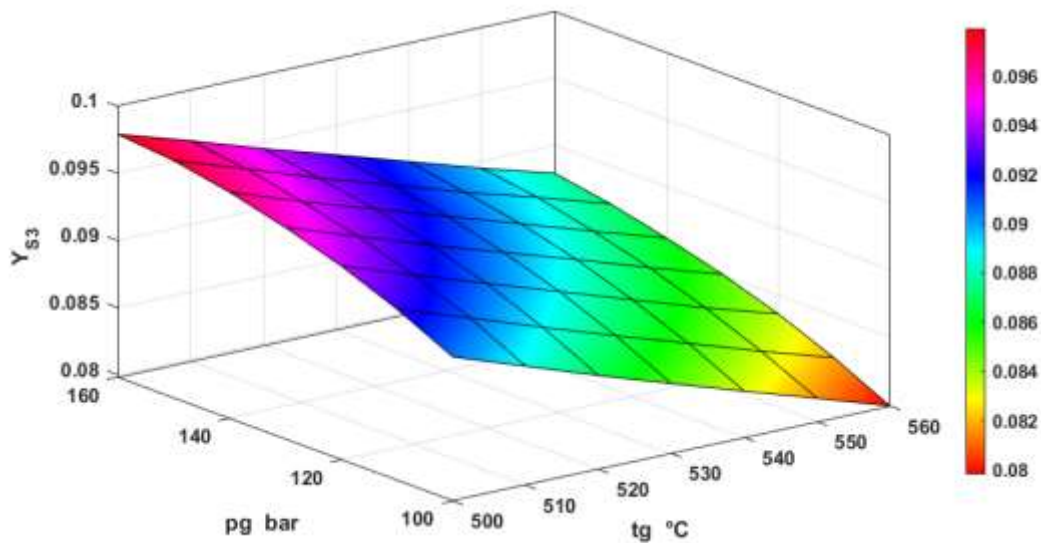
La figure 6.21 représente la variation de fraction massique  $Y_{s2}$  en fonction de la température  $T_g$  pression  $P_g$  du générateur de vapeur. . Les valeurs de la pression varient de 112 bar à 160 bar et les valeur de température varient de 512°C à 560°C.



**Figure6.21: Variation de fraction massique soutirée  $Y_{s2}$  En fonction de  $P_g$  et  $T_g$**

La fraction massique  $Y_{s2}$  varie de 0.1 à 0.125 avec  $P_g$  varie de 112 à 160 Bar, et  $T_g$  varie de 512 à 560°C. Cette variation peut indiquer une meilleure récupération de chaleur à des températures plus  $Y_{s2}$  augmente avec  $T_g$ , suggérant une récupération efficace de chaleur à des températures plus élevées, contribuant ainsi à l'efficacité globale du système.

#### 6.6.6. Variation de la fraction massique $Y_{s3}$ en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur



**Figure 6.22: Variation de fraction massique soutirée  $Y_{s3}$  En fonction de  $P_g$  et  $T_g$**

## Chapitre VI : Installation avec trois soutirages et trois mélangeurs.

La figure 6.22 représente la variation de fraction massique  $Y_{s3}$  en fonction de la température  $T_g$  et de la pression  $P_g$  du générateur de vapeur. Les valeurs de la pression varient de 112 bar à 160 bar et les valeurs de température varient de 512°C à 560°C. La fraction massique du troisième soutirage  $Y_{s3}$  varie de 0.08 à 0.096 avec  $P_g$  varie de 112 à 160 Bar, et  $T_g$  varie de 512 à 560°C. Cette variation peut indiquer une meilleure récupération de chaleur à des pressions plus élevées et des températures plus basses, conduisant à une augmentation de la fraction massique du troisième soutirage.  $Y_{s3}$  augmente avec  $P_g$  et diminue avec  $T_g$ , suggérant une récupération efficace de chaleur à des pressions plus élevées et des températures plus basses. Cela contribue à l'optimisation de l'efficacité énergétique du système en augmentant la fraction massique du troisième soutirage. Une pression plus élevée et une température plus basse dans le générateur de vapeur favorisent ainsi une meilleure utilisation de la chaleur, améliorant ainsi les performances globales du système.

### 6.6.7. La variation Température de soutirage $T_{s2}$ en fonction de $P_g$ et $T_g$

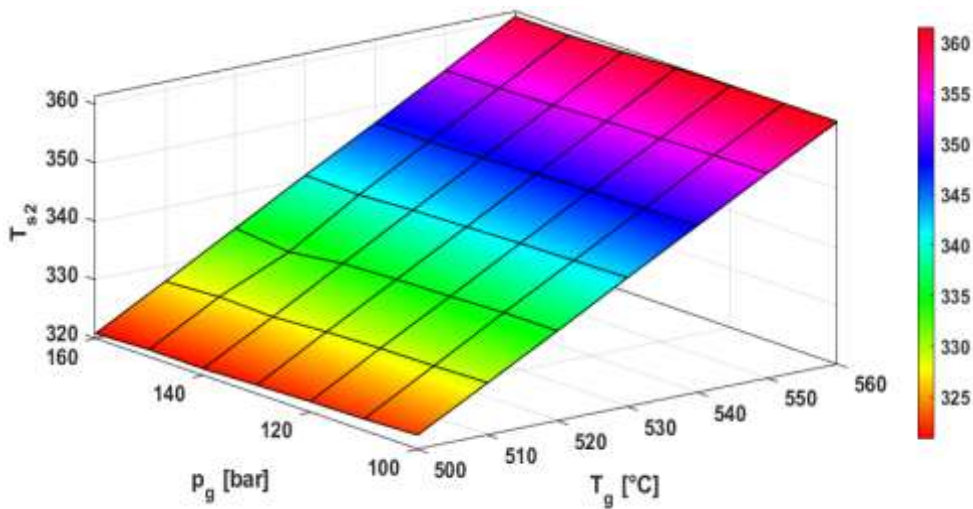


Figure 6.8: Variation de température de soutirages  $T_{s2}$  En fonction de  $P_g$  et  $T_g$

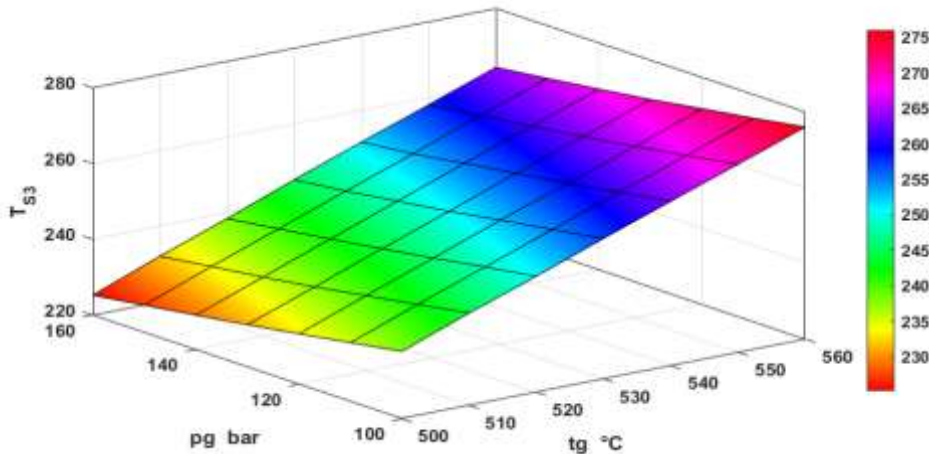
La figure 6.1 représente la variation de température de soutirage  $T_{s2}$  en fonction de la température  $T_g$ , pression  $P_g$  du générateur de vapeur. Les valeurs de la pression varient de 112 bar à 160 bar et les valeurs de température varient de 512°C à 560°C.

La température du deuxième soutirage  $T_{s2}$  varie de 325 à 360°C avec , Cette variation peut indiquer une meilleure utilisation de l'énergie à des pressions plus élevées et des températures plus basses, conduisant à une augmentation de la température du deuxième soutirage.

$T_{s2}$  augmente avec  $T_g$ , indiquant une meilleure récupération de chaleur à des températures plus élevées, contribuant ainsi à l'efficacité globale du système.

**6.6.8. Variation de la Température de soutirage  $T_{s3}$  en fonction de la température et de la pression du générateur de vapeur.**

La figure 6.23 représente la variation de température de soutirage  $T_{s3}$  en fonction de la température  $T_g$ , pression  $P_g$  du générateur de vapeur. Les valeurs de la pression varient de 112 bar à 160 bar et les valeur de température varient de 512°C à 560°C.



**Figure 6.23: Variation de température de soutirages  $T_{s3}$  En fonction de  $P_g$  et  $T_g$**

La figure 6.23 illustré **Variation de température de soutirages  $T_{s3}$**  en fonction de la température  $T_g$ , pression  $P_g$  du générateur de vapeur. La température du troisième soutirage  $T_{s3}$  varie de 220 à 240°C avec  $P_g$  varie de 112 à 160 Bar, et  $T_g$  varie de 512 à 560°C, Cette variation peut indiquer une meilleure utilisation de l'énergie à des pressions plus élevées et des températures plus basses, conduisant à une augmentation de la température du deuxième soutirage.

$T_{s3}$  augmente avec  $T_g$ , indiquant une meilleure récupération de chaleur à des températures plus élevées, contribuant ainsi à l'efficacité globale du système.

La relation entre  $T_{s3}$  et  $T_g$  et la pression  $P_g$  peut être expliquée par le fait que des pressions plus élevées permettent à la vapeur de transporter plus d'énergie thermique, ce qui peut augmenter la température de soutirage. En même temps, une température  $T_g$  plus élevée signifie que la vapeur a plus d'énergie thermique disponible pour être transférée lors du processus de soutirage.

**6.6 Conclusion**

En conclusion, l'installation d'un cycle de turbine à vapeur avec resurchauffe, trois points de soutirage et trois dispositifs de mélange représente une approche avancée et sophistiquée dans le domaine de la production énergétique.

## **Chapitre VI : Installation avec trois soutirages et trois mélangeurs.**

---

Cette configuration offre un potentiel considérable en matière d'efficacité énergétique. La combinaison de la resurchauffe avec trois points de soutirage et trois dispositifs de mélange permet de maximiser l'utilisation de la vapeur à différentes températures et pressions tout au long du processus, ce qui se traduit par un rendement global très élevé. Une utilisation plus efficace de la chaleur disponible réduit les pertes thermiques et augmente la production d'électricité, ce qui est bénéfique à la fois d'un point de vue économique et environnemental.

En outre, cette configuration offre une grande flexibilité opérationnelle et une capacité à répondre rapidement aux variations de la demande énergétique. Elle permet également d'adapter la production en fonction des besoins spécifiques, ce qui peut être crucial dans le contexte d'un réseau électrique moderne en constante évolution.

En résumé, l'installation d'un cycle de turbine à vapeur avec resurchauffe, trois points de soutirage et trois dispositifs de mélange représente une solution technologique de pointe, favorisant une efficacité énergétique accrue, une meilleure adaptabilité aux fluctuations de la demande et une performance opérationnelle remarquable. Elle incarne ainsi une avancée



# Conclusion générale



# Conclusion générale

En conclusion, l'optimisation du cycle de turbine à vapeur représente une démarche essentielle pour améliorer l'efficacité énergétique, réduire les pertes thermiques et minimiser l'impact environnemental des systèmes de production d'énergie thermique. Dans ce travail nous avons commencé par une modélisation rigoureuse du cycle de turbine à vapeur, qui permet de comprendre en détail son fonctionnement, de simuler ses performances et d'identifier les paramètres clés.

Une étude paramétrique est ensuite entreprise pour analyser comment les variations de ces paramètres affectent les performances du cycle. Cela permet d'explorer un large éventail de configurations possibles et de déterminer les valeurs optimales pour ces paramètres. Cette étape est cruciale pour comprendre les compromis entre différentes variables et pour trouver des pistes d'amélioration.

Une fois que les paramètres optimaux sont identifiés, on peut passer à l'optimisation proprement dite. Cette phase vise à maximiser le rendement de la turbine à vapeur tout en minimisant les coûts opérationnels et environnementaux. L'optimisation peut inclure des ajustements au niveau des pressions, des températures, des débits de vapeur, des composants, et d'autres variables du cycle.

Dans cette quête constante d'optimisation des cycles de turbine à vapeur, la méthode d'optimisation du loup gris est une approche bio-inspirée par le comportement social du loup gris en meute, l'un des prédateurs les plus efficaces et coordonnés de la nature. Les chercheurs ont observé comment les loups gris chassent en groupe, coordonnent leurs efforts et s'adaptent à des environnements changeants pour réussir leur chasse. Ces comportements ont été convertis en équations mathématiques qui forment la base de la méthode d'optimisation du loup gris, s'est révélée être une solution innovante et puissante. Cette méthode puise sa philosophie d'optimisation dans le comportement social et la stratégie de chasse collaborative des loups gris en meute. Elle a la capacité d'explorer de manière globale et intelligente l'espace des solutions pour identifier les configurations optimales, même dans des systèmes complexes comportant plusieurs soutirages.

L'une des caractéristiques notables de la méthode du loup gris est sa flexibilité et sa capacité à résoudre des problèmes d'optimisation difficiles, tels que ceux liés aux cycles de turbine à vapeur avec plusieurs soutirages. Cette complexité est due à la multiplicité des paramètres, des interactions entre les composants et des compromis à considérer. Cependant, la méthode du loup gris, à l'instar du

## Conclusion générale

---

loup en meute, aborde ces défis de manière systématique, en utilisant des mécanismes de recherche, de communication et de coopération pour parvenir à des solutions optimales.

L'application de cette méthode d'optimisation pour ces différents cycles a démontré de manière remarquable son efficacité à améliorer le rendement de ces systèmes. En explorant l'espace des solutions de manière systématique et approfondie, cette méthode a permis d'identifier les paramètres clés qui influencent de manière significative le rendement de la turbine à vapeur.

Parmi ces paramètres, la fraction massique de la vapeur à chaque étape du cycle, les températures et les pressions de soutirages sont particulièrement cruciaux. Les résultats des études d'optimisation ont montré que de légères variations dans ces paramètres peuvent avoir un impact notable sur le rendement de l'ensemble du système.

Tout d'abord, la fraction massique de la vapeur, c'est-à-dire la proportion de vapeur par rapport au mélange vapeur-eau à chaque étape du cycle, joue un rôle essentiel. L'optimisation a permis de déterminer les fractions massiques optimales à chaque point de soutirage, de manière à maximiser l'efficacité de la conversion de chaleur en énergie mécanique. Des fractions massiques appropriées permettent d'assurer que la vapeur soit utilisée de manière optimale à chaque étape du processus, minimisant les pertes thermiques et maximisant la production d'électricité.

En outre, la température de la vapeur à chaque étape du cycle a également été identifiée comme un paramètre clé de l'optimisation. L'ajustement précis de ces températures a permis de garantir que la vapeur soit à une température optimale pour la conversion d'énergie. Cette méthode nous a permis d'explorer différentes combinaisons de températures pour maximiser le rendement, tout en tenant compte des contraintes opérationnelles.

Enfin, les pressions de soutirage ont joué un rôle majeur dans l'optimisation des cycles de turbine à vapeur. L'ajustement minutieux de ces pressions a permis de contrôler la manière dont la vapeur est déviée à différents niveaux de pression. Une distribution judicieuse de la vapeur à travers les points de soutirage a contribué de manière significative à l'amélioration du rendement.

Cette approche bio-inspirée offre une solution novatrice pour maximiser l'efficacité énergétique et réduire les pertes thermiques.

## **References Bibliographiques**

- [1] Robert X ,Perez and Devid W , Lawhon. Operator's guide to genral purpose steam turbines Canada ,2016
- [2] ALBIN .MICHEL « Turbines à vapeur et à gaz », Paris, 1965
- [3] AOUASSA Hatem. Optimisation de la sûreté de fonctionnement d'une turbine à vapeur, Mémoire de MASTER Académique, Université – Guelma, 2022
- [4] ABDICHE Nabila et AZIZE Karima , Étude énergétique comparative des performances des turbines à vapeur. Mémoire de MASTER, université Mouloud Mammeri 2022.
- [5] Boubeha Hamid et Kelouaz Rachid, Analyse énergétique de l'influence de la resurchauffe sur La performance d'une turbine à vapeur. Mémoire de MASTER,2020
- [6] G. Hart. Les turbines à vapeur, 1904.
- [7] Seedily Mirjalili ,Seyed Mohammed Mirjalili , Andrew Lewis ,advances in Engineering software 69 (2014) 46-61