

3/97

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique

BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique
Département du Génie Mécanique

MEMOIRE

*Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état
en Génie Mécanique*

THEME



**OPTIMISATION THERMODYNAMIQUE
DE CYCLES A VAPEUR AVEC
DES CARACTERISTIQUES
DE VAPEUR ELEVEES**

Présenté par:

Mr GATI Walid

Proposé et encadré par:

Mr H.BENNOUR

PROMOTION 1997

DEDICACES

A LA MEMOIRE DE MES GRANDS PARENTS

A MES PARENTS, SANS QUI RIEN N'AURAIT ETE POSSIBLE

A MES SOEURS

A TOUTE MA FAMILLE

A TOUS MES AMIS

JE DEDIE DE TOUT MON COEUR LE FRUIT DE MES EFFORTS

WALID

REMERCIEMENTS

Je remercie tout particulièrement mon promoteur, Mr H. BENNOUR pour l'aide précieuse et les conseils attentionnés qu'il m'a fournis tout au long de ce travail, ainsi que pour sa disponibilité remarquable qui ne m'a jamais fait défaut

Mes remerciements vont aujourd'hui à tous les enseignants qui ont participé à ma formation ainsi qu'aux membres du jury qui ont bien voulu accepter de juger cette modeste contribution.

SOMMAIRE

INTRODUCTION1

CHAPITRE I

LES VOIES D'AMÉLIORATION DES PERFORMANCES DES CENTRALES
 THERMIQUES A VAPEUR QUAND ET COMMENT LES INTÉGRER
 DANS LE CYCLE ?.....4

I-1 LA SURCHAUFFE.....6

I-2 LA RESURCHAUFFE.....11

I-3 LA RÉGÉNÉRATION.....17

I-3-a ÉTUDE DU CYCLE A UN SOUTIRAGE.....20

I-3-b ÉTUDE DU CYCLE A PLUSIEURS SOUTIRAGES.....23

CHAPITRE II

CONSIDÉRATIONS SUR LES PARAMÈTRES PERTINENTS
 DU CYCLE A VAPEUR.....29

II-1 CARACTÉRISTIQUES DE VAPEUR.....30

II-2 TEMPÉRATURE FINALE DE L'EAU D'ALIMENTATION.....31

II-3 LES PRESSIONS DE LA PREMIÈRE
 ET DE LA DEUXIÈME RESURCHAUFFE.....32

II-4 COMBINAISON DE LA RESURCHAUFFE
 AVEC LES SOUTIRAGES.....36

CHAPITRE III

ANALYSE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE COMPLÈTE ET ÉLABORATION
 D'UN PROGRAMME DE CALCUL SERVANT À DÉTERMINER LES LIMITES
 POTENTIELLES DES CENTRALES
 THERMIQUES A VAPEUR.....38

III-1 DESCRIPTION D'UNE INSTALLATION TYPE.....	39
III-2 ALGORITHME DE CALCUL DU CYCLE A VAPEUR.....	43
III-2-a HYPOTHÈSES DE CALCUL.....	43
III-2-b DONNÉES DE CALCUL.....	47
III-2-c ELABORATION DU PROGRAMME :	
1 l'Installation ne comporte pas de resurchauffe.....	54
2 l'Installation comporte une resurchauffe.....	59
3 l'Installation comporte deux resurchauffes.....	62

CHAPITRE IV

RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	67
IV-1 INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DE LA VAPEUR VIVE ET DES TEMPERATURES DE RESURCHAUFFE.....	70
IV-2 EFFET DES RESURCHAUFFES SUR LES DIFFERENCES DE TEMPERATURE DANS LES RECHAUFFEURS D'EAU.....	74
IV-3 COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES DE QUATRE INSTALLATIONS DE PUISSANCES DIFFERENTES.....	76
CONCLUSION.....	80

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

NOMENCLATURE

C_n : Consommation spécifique nette (KJ/KWh).

C_p : Pouvoir calorifique du combustible (KJ/kg).

E_C : Énergie cinétique (KJ).

E_P : Énergie potentielle (KJ).

h : Enthalpie (KJ/kg).

m : Débit massique de vapeur (kg/s).

m_C : Consommation de combustible (kg/s).

m_{sp} : Consommation spécifique de combustible (kg/KWh).

n : Nombre de soutirages.

P : Pression (Mpa).

Q_1 : Quantité de chaleur fournie au fluide dans la chaudière (KJ/kg).

Q_2 : Quantité de chaleur fournie au fluide dans le premier resurchauffeur (KJ/kg).

Q_3 : Quantité de chaleur fournie au fluide dans le deuxième resurchauffeur (KJ/kg)

Q : Quantité de chaleur totale fournie au fluide (KJ/kg).

S : Entropie (KJ/kg.K) .

T : Température (°C).

v : Volume spécifique (m^3/kg).

W : Travail spécifique net (KJ/kg).

W_T : Travail fourni par la turbine (KJ/kg).

W_P : Travail absorbé par la pompe (KJ/kg).

W : Puissance à l'accouplement (KW).

X : titre .

Y : Masse de vapeur soutirée par kg de vapeur passant au condenseur.

NOMENCLATURE

Rendements :

- η : rendement mécanique.
 η_a : rendement des accessoires.
 η_G : rendement du générateur de vapeur.
 η_i : rendement interne.
 $\eta_{s,i}$: rendement isentropique de la turbine.
 η_t : rendement thermique.
 η_{tot} : rendement total.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Points importants de l'installation :

- 1=9 : Entrée de la pompe alimentaire.
2 : entrée de la chaudière.
(3) : sortie de la chaudière.
3 : Entrée du corps (HP) de la turbine.
6 : Entrée du condenseur.
6i : i^{ème} soutirage.

* Installation comportant une resurchauffe :

- 4 : Sortie du corps (HP) de la turbine.
(4) : Entrée du réchauffeur.
(5) : sortie du réchauffeur.
5 : Entrée du corps (MP) de la turbine.

* Installation comportant une resurchauffe :

- 4_I : Sortie du corps (HP) de la turbine.
(4_I) : Entrée du premier resurchauffeur.
(5_I) : Sortie du premier resurchauffeur.
5_I : Entrée du corps (MP) de la turbine.
4_{II} : Sortie du corps (MP) de la turbine.
(4_{II}) : Entrée du deuxième resurchauffeur.
(5_{II}) : Sortie du deuxième resurchauffeur.
5_{II} : Entrée du corps (MP) de la turbine.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION

Depuis que la turbine à vapeur a vu le jour vers le début du vingtième siècle, les chercheurs ont travaillé d'arrache-pied pour améliorer ses performances. C'est ainsi qu'elle a évolué à l'image de l'expansion énergétique qui a gagné, au cours du temps, des régions de plus en plus vastes où l'industrie s'est développée progressivement, pour l'amélioration constante des conditions de vie et pour plus de prospérité.

La turbine à vapeur est devenue ainsi le moteur le plus utilisé pour la production d'énergie. Aujourd'hui, on la retrouve aussi bien dans les centrales thermiques à vapeur classiques, que dans les centrales nucléaires et les centrales à cycle combiné.

La puissance des turbines à vapeur a considérablement évolué avec le temps pour les rendre de plus en plus efficaces et de plus en plus économiques. En 1902, Westinghouse a construit une turbine de 2 MW, avec des conditions de vapeur à l'admission de 1.07 MPa, 210°C. Vers les années 50, des unités de 50 MW étaient déjà utilisées. Vers le début des années 60 la puissance des turbines à vapeur a évolué jusqu'à 125 MW pour atteindre des puissances variant de 250 à 500 MW à la fin des années 60. Avec l'avènement des centrales fonctionnant au combustible nucléaire, on a été obligé de concevoir et de construire des turbines encore plus puissantes, parce que justement les centrales nucléaires ne sont rentables qu'avec des groupes d'au moins 400 à 500 MW.

Actuellement, des unités dont la puissance dépasse 1300 MW sont déjà opérationnelles.

L'évolution de la puissance de la turbine à vapeur a été la conséquence de l'évolution de la pression et de la température de la vapeur à l'admission de la turbine. En effet, l'évolution de ces deux paramètres est une condition impérative pour l'amélioration du rendement des centrales à vapeur, mais l'efficacité de la turbine elle-même, en tant que maillon essentiel dans le cycle thermodynamique de la centrale, exige que ce relèvement des caractéristiques de la vapeur à l'admission de la turbine, soit accompagné d'une augmentation de puissance.

Cependant, pression et température de la vapeur sont à leur tour liées au choix des matériaux utilisés pour la construction des différentes parties de la machine. Ainsi par exemple, si l'on désire s'en tenir à l'emploi d'aciers feritiques, il convient de limiter la température de la vapeur à 540°C. Des matériaux plus coûteux, mais pouvant résister à des températures de l'ordre de 649°C et des pressions hypercritiques, de l'ordre de 34.5 Mpa, existent déjà [2].

A présent, on se pose la question de savoir jusqu'où doit-on continuer à pousser les limites des caractéristiques de la vapeur, tout en continuant à réaliser des économies globales ?

En effet, à mesure qu'on augmente ces limites, on constate qu'on améliore certes, mais on améliore de moins en moins, tandis que le prix des efforts consacrés à cette question et le coût des réalisations techniques nécessaires pour opérer dans des conditions de plus en plus élevées, augmentent eux de plus en plus vite.

Par ailleurs, il existe maintenant les cycles combinés qui exigent des conditions de vapeur modérées et qui atteignent des rendements nettement plus élevés que ceux des centrales à vapeur classiques. Il y a cependant tous les combustibles de mauvaise qualité, que la turbine à gaz du cycle combiné ne

peut pas utiliser et il y a les centrales nucléaires qui, en dépit de leur rendement relativement faible, présentent l'avantage d'utiliser un combustible pratiquement inépuisable.

Pour toutes ces raisons il faut poursuivre les efforts qui tendent à développer la turbine à vapeur.

Dans le présent travail, nous allons passer en revue et analyser les différents aspects liés au cycle thermodynamique de la turbine à vapeur.

Nous essayerons d'élaborer un programme de calcul, à partir des critères d'optimisation et de modèles de calcul dégagés lors de notre analyse. Ce programme nous permettra, en fixant un certain nombre de paramètres essentiels, de produire des résultats relatifs à des données diverses et puis d'analyser ces résultats pour tenter de fixer les limites potentielles des cycles à vapeur.

CHAPITRE I

**LES VOIES D'AMELIORATION DES PERFORMANCES
DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR.
QUAND ET COMMENT LES INTEGRER
DANS LE CYCLE ?**

négligées, le travail W produit par Kg de fluide parcourant le cycle a pour expression :

$$W = W_T - W_p = (h_3 - h_4) - (h_2 - h_1) \quad (I-1)$$

Il est représenté sur le diagramme (T-S) par la surface hachurée.

La chaleur Q reçue par Kg de fluide dans la chaudière s'exprime par :

$$Q = h_3 - h_2 \quad (I-2)$$

elle est représentée sur le diagramme (T-S) par la surface comprise entre la ligne (2,2',3), l'axe des abscisses et les verticales des points 2 et 3.

Le rendement du cycle a donc pour expression :

$$\eta_t = \frac{W}{Q} = \frac{h_3 - h_4 - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2} \quad (I-3)$$

Le cycle de Rankine étant la forme la plus simple des cycles de puissance à vapeur, nous pouvons introduire certaines variations qui permettent d'améliorer ses performances.

I-1 LA SURCHAUFFE :

Lorsqu'on rajoute une surchauffe isobare 33' au cycle de Rankine, celui-ci devient le cycle de Hirn. Il est à la base des cycles réalisés dans les centrales thermiques pour lesquelles, la température élevée que possèdent les gaz de combustion, permet le recours à une surchauffe importante.

Le cycle idéal correspondant à une centrale thermique élémentaire à vapeur d'eau est le cycle de Rankine illustré à la (Figure 1)

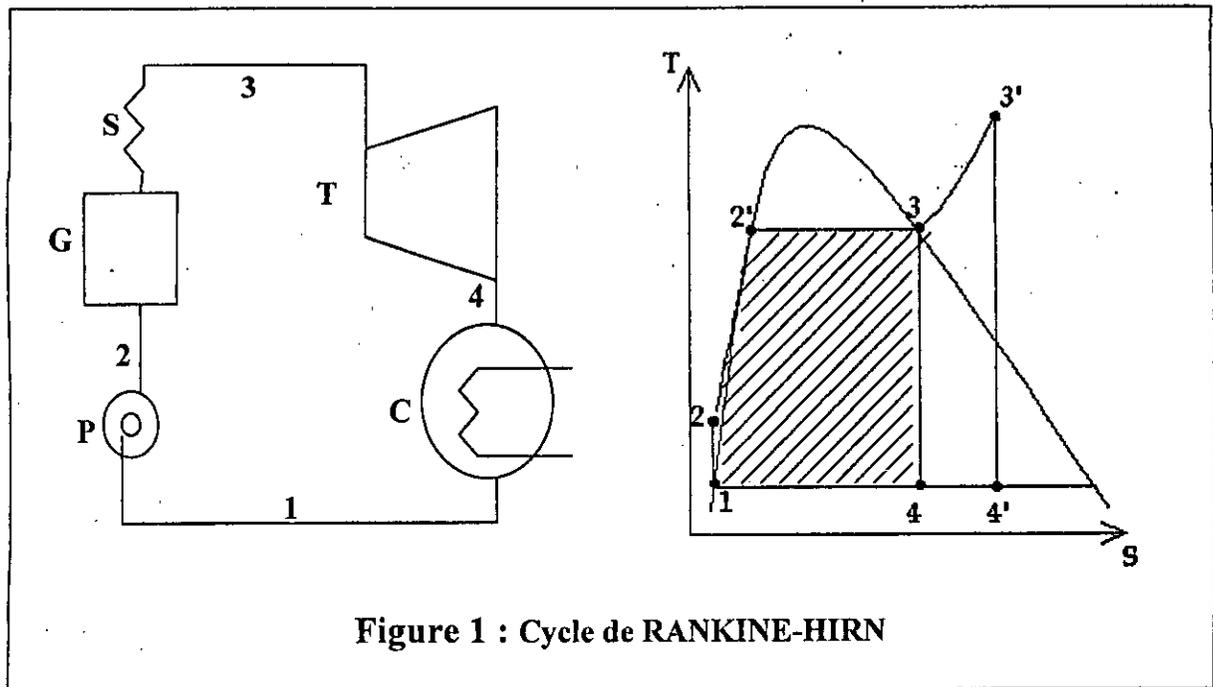


Figure 1 : Cycle de RANKINE-HIRN

Le cycle de Rankine se compose des transformations réversibles suivantes :

- 1-2 : Compression adiabatique effectuée par la pompe
- 2-3 : Échauffement de l'eau et vaporisation isobare dans la chaudière.
- 3-4 : Détente adiabatique dans la turbine
- 4-1 : Condensation isobare (et isotherme) dans le condenseur

Si l'on suppose que la détente de la vapeur se fait adiabaticquement et sans frottement et que les variations d'énergie cinétique ΔE_c et potentielle ΔE_p sont

supérieure à la (t.m.i) relative au cycle de Rankine correspondant, en sorte que dans les même conditions de pression, le rendement du cycle de Hirn l'emportera toujours sur celui du cycle de Rankine.

D'ailleurs, l'accroissement de la température de surchauffe entraînera non seulement l'augmentation de la (t.m.i) relative à la surchauffe, mais, encore de son " poids " dans la moyenne pondérée (I-6). *Il en résulte que le rendement est une fonction croissante de la température de surchauffe.*

Considérons ensuite, le cas où, pour une valeur donnée de la température T_3 , on augmente la pression de vapeur vive. On remarque les effets suivants :

-en ce qui concerne l'échauffement (1,2') de l'eau, la (t.m.i) T_{12} augmente ainsi que le " poids " de celle-ci dans la moyenne pondérée de la relation (I-6).

-en ce qui concerne le palier de vaporisation, la température de saturation augmente tandis que diminue le poids de cette température dans l'expression (I-6).

-en ce qui concerne enfin la surchauffe 33', la (t.m.i) T_{33} augmente.

En fin de compte, l'augmentation de la pression supérieure du cycle est toujours favorable dans le domaine de l'échauffement et de surchauffe, mais elle peut être défavorable dans le palier de vaporisation. L'action conjuguée de ces deux effets contradictoires explique l'existence d'une pression optimale qui maximise le rendement du cycle de Hirn pour une température de surchauffe donnée.

Ceci est mis en évidence sur la figure 2 qui montre que pour des températures de condensation et de surchauffe de 35 et 500°C respectivement, le rendement maximal du cycle de Hirn sera atteint pour une pression optimale de 35 Mpa.

Pour finir, l'expression (1-5) indique clairement qu'une diminution de $T_{13}=T_{II}$ entraîne toujours une amélioration du rendement thermique. Toutefois on sait que cette température est fixée par la température de la source froide qui est pratiquement voisine de la température ambiante.

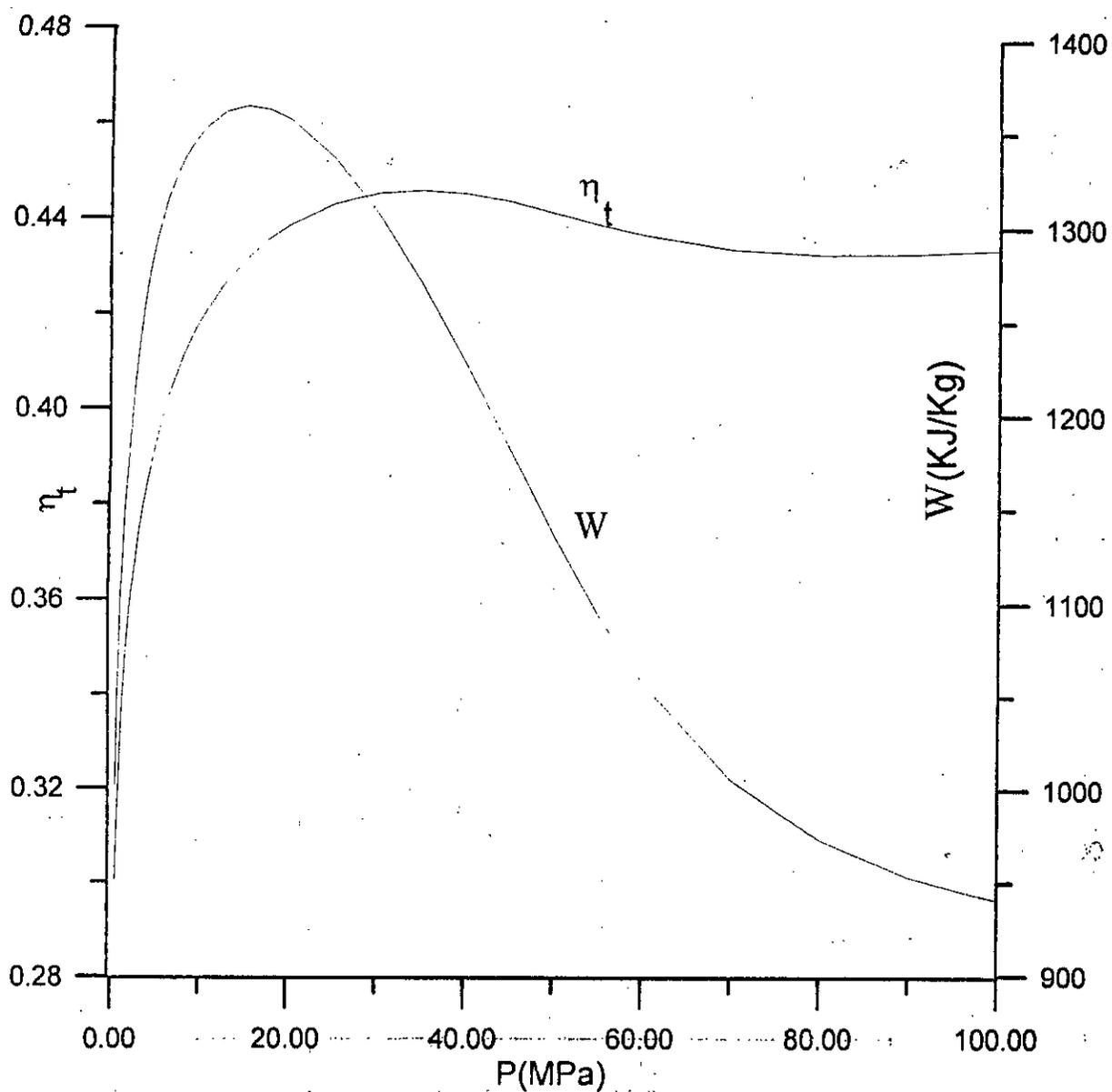


Figure 2 : Rendement thermique et travail spécifique
d'un cycle de HIRN
en fonction de la pression de vapeur vive

I-2 LA RESURCHAUFFE :

La comparaison des cycles de Hirn et de Rankine a montré l'intérêt qu'il y a, pour les cycles à vapeur, de poursuivre l'échauffement isobare du fluide moteur jusqu'à une température aussi élevée que possible.

L'avantage ainsi obtenu de la surchauffe peut être augmenté en réalisant une détente adiabatique réversible de la vapeur (3,4') jusqu'à la pression P_{int} située entre P_I et P_{II} dans une première partie de la turbine appelée corps (HP), puis une surchauffe isobare (4',5) jusqu'à la température T_5 en principe la même que T_3 . Cette surchauffe s'effectue dans un surchauffeur intermédiaire S_i , puis suivent dans l'ordre : la détente isentropique jusqu'au point 6', la condensation isobare jusqu'au point 1, la compression jusqu'au point 2 et un chauffage isobare jusqu'au point 3 (Figure 3).

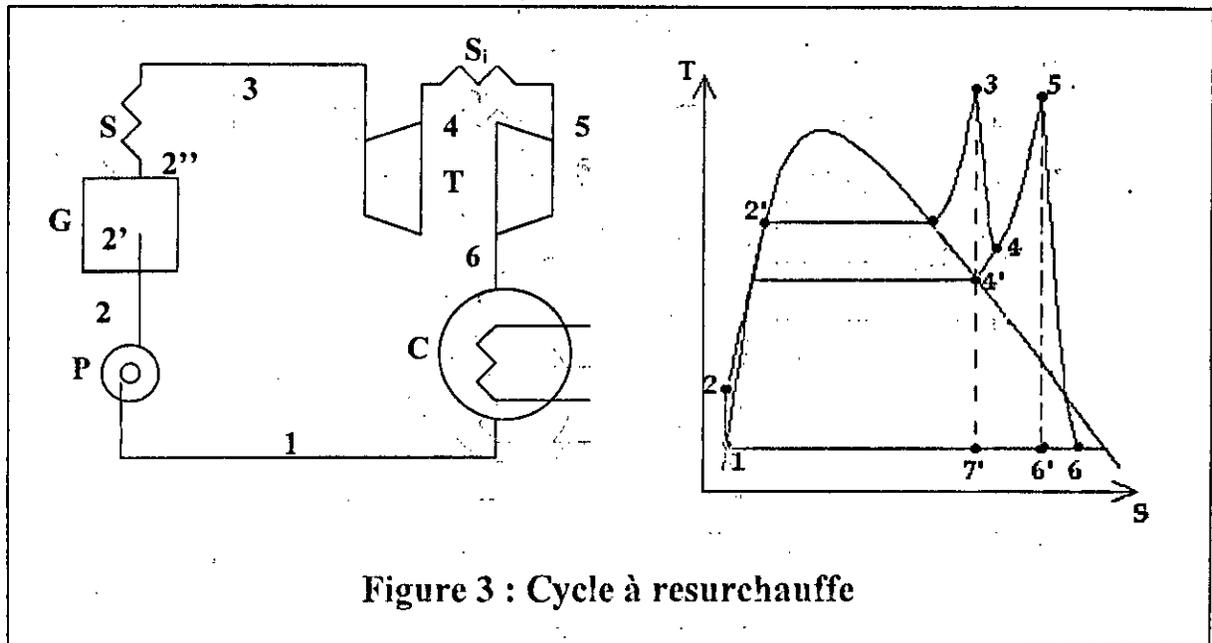


Figure 3 : Cycle à resurchauffe

Avec les approximations habituelles ($Q=0$, $\Delta E_c=0$, $\Delta E_p=0$), le travail moteur résultant des détente (3,4') et (5,6') et de la compression (1,2) s'élève par Kg de vapeur à :

$$W = (h_3 - h_{4'} + h_5 - h_{6'}) - (h_2 - h_1) \quad (I-8)$$

D'autre part, la chaleur reçue par le fluide dans le générateur de vapeur s'exprime par :

$$Q = h_3 - h_2 + h_5 - h_{4'} \quad (I-9)$$

Le rendement thermique du cycle devient donc :

$$\eta_t = \frac{h_3 - h_{4'} + h_5 - h_{6'} - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2 + h_5 - h_{4'}} \quad (I-10)$$

ou encore :

$$\eta_t = \frac{h_3 - h_{4'} + h_5 - h_{6'} - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_1 + h_5 - h_{4'} - (h_2 - h_1)} \quad (I-11)$$

Si nous supposons comme précédemment que : 1 \equiv 2 cette expression devient :

$$\eta_t = \frac{h_3 - h_{4'} + h_5 - h_{6'}}{h_3 - h_1 + h_5 - h_{4'}} \quad (I-12)$$

Soit encore :

$$\eta_t = \frac{h_3 - h_{7'} + (h_5 - h_{4'}) - (h_{6'} - h_{7'})}{h_3 - h_1 + (h_5 - h_{4'})} \quad (I-13)$$

Si nous comparons cette dernière expression avec celle du rendement thermique du cycle de Hirn caractérisé par la même pression P_{II} et le même

point 3, soit donc avec :

$$\eta_t' = \frac{h_3 - h_{7'}}{h_3 - h_1} \quad (I-14)$$

nous remarquons que η_t peut être supérieur ou inférieur à η_t' suivant que l'influence du terme $(h_5 - h_{4'})$ ou du terme $(h_{6'} - h_{4'})$ est prédominante. Or, comme on le voit facilement sur le figure 3, la pression P_{II} et le point 3 étant donnés, tous les points du cycle sont déterminés à part les points : 4', 5, 6' qui ne dépendent que de la pression P_{int} . La valeur de η_t elle même n'est donc fonction que de P_{int} .

Les calculs numériques de η_t pour un grand nombre de cycles, prévus tous avec des températures $T_3 = T_5$ comprises entre 500 et 600°C et des pressions $P_I = 5 \dots 20$ Mpa et $P_{II} = 5$ kPa, conduisent à un rapport $\Pi = P_{int} / P_I$ optimisant le cycle compris entre 0.2 et 0.25. Par ailleurs, le rendement n'est pas très sensible aux variations de la pression de resurchauffe autour de l'optimum; dans les meilleures des conditions en effet, l'augmentation de rendement thermique $\Delta\eta_t$ peut être d'environ 0.015...0.020 lorsque la pression de resurchauffe varie dans l'intervalle ci-dessus.

Ceci est illustré par la figure 4, où sont représentées les variations de $(\Delta\eta_t = \eta_t - \eta_t')$ en fonction du rapport $\Pi = (P_{int} / P_I)$, pour un cycle où $P_I = 10$ Mpa, $T_{II} = 35^\circ\text{C}$, $T_3 = T_5 = 500^\circ\text{C}$. On notera que l'amélioration du rendement n'est que de $\Delta\eta_{\max} = 0.0149$ obtenue pour $\Pi = 0.23$.

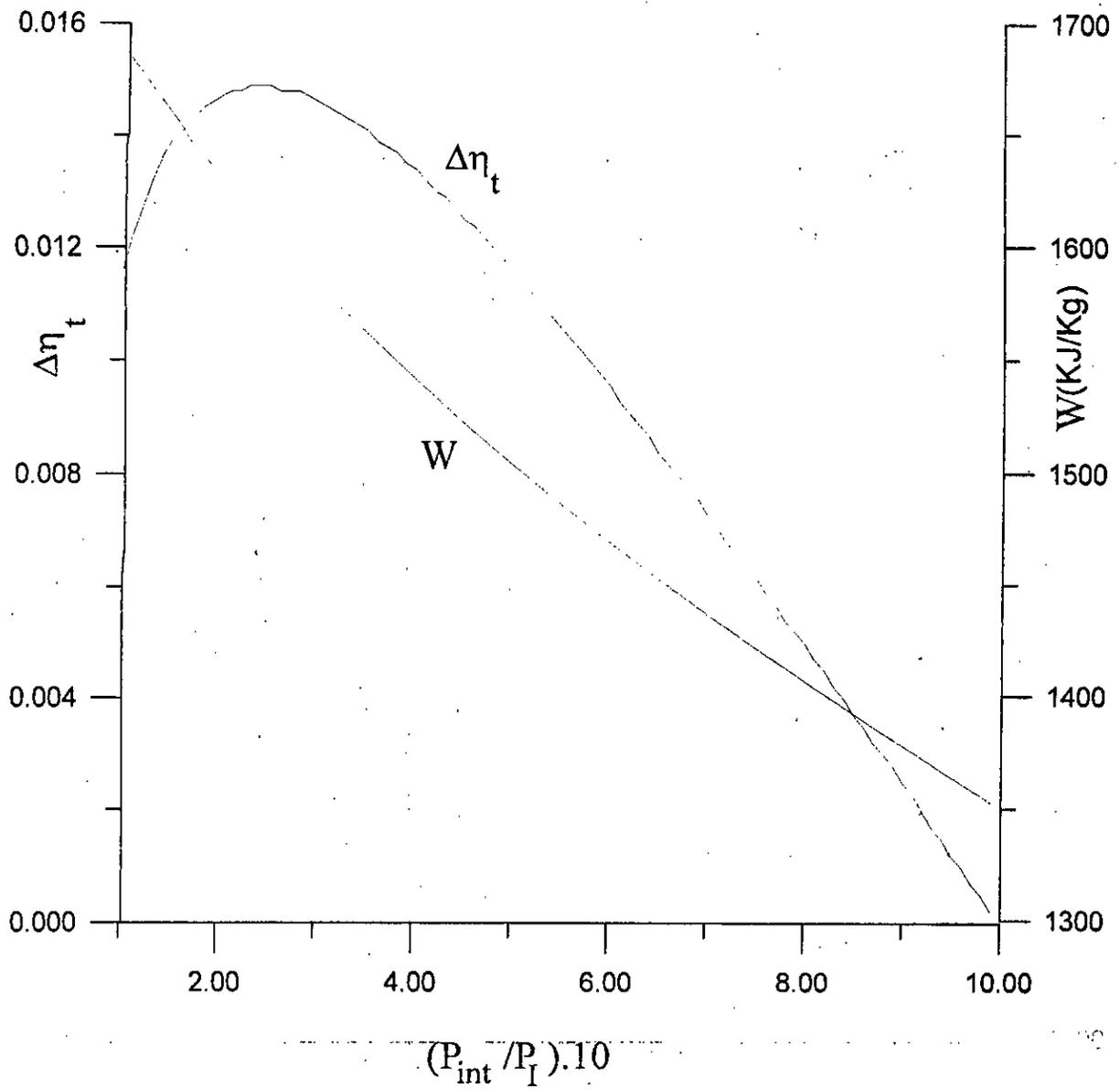


Figure 4 : Amélioration du rendement
thermique et travail spécifique en fonction du
rapport P_{int}/P_1

Dans le cas où nous ne négligeons plus les frottements dans la turbine, l'expression du rendement devient :

$$\eta_t \cdot \eta_i = \frac{h_3 - h_4 + h_5 - h_6}{h_3 - h_2 + h_5 - h_4} \quad (\text{I-15}).$$

Soit encore :

$$\eta_t \cdot \eta_i = \frac{\eta_{s,i} \cdot (h_3 - h_{4'} + h_5 - h_{6'})}{\eta_{s,i} \cdot (h_3 - h_{4'}) + h_5 - h_1} \quad (\text{I-16}).$$

où on a :

η_i : rendement interne

$\eta_{s,i}$: Rendement isentropique interne de la turbine

Comme la surchauffe est favorable à η_t , qu'elle donne lieu à un rendement interne η_i supérieur à $\eta_{s,i}$, lui même amélioré grâce à l'augmentation du titre à l'entrée de la turbine qui passe de X_7 à X_6 , le gain en rendement total $\Delta\eta_{\text{tot}}$, c.à.d celui qui tient compte de toutes les pertes, est supérieur au gain obtenu pour η_t . Il peut atteindre des valeurs de 0.025 ...0.035.

La figure 5 représente le gain de rendement total $\Delta\eta_{\text{tot}}$ en fonction de $\Pi = P_{\text{int}} / P_1$ pour les mêmes conditions que celles de la figure 4, montre un gain maximum de 0.027 obtenu pour $\Pi = 0.2$. Le calcul de η_{tot} a été effectué avec :

$$\eta_{s,i} = 0.88.$$

$$\eta_G = 0.89.$$

$$\eta = 0.98.$$

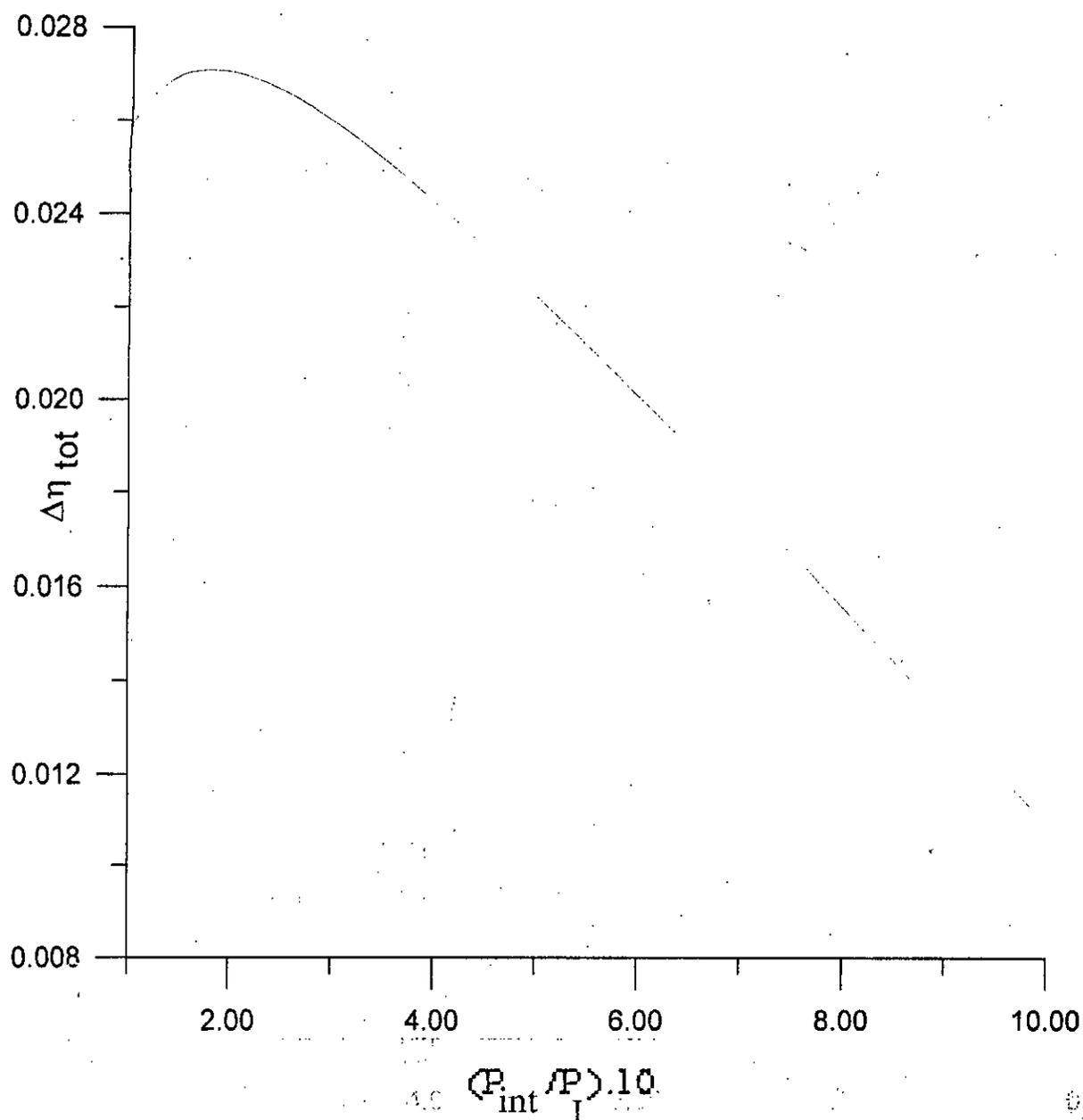


Figure 5 : Amélioration du rendement total
en fonction de P_{int}/P_1

Enfin, on peut à cause de la resurchauffe adopter en amont de la turbine des pressions plus élevées sans que le titre à la sortie de la turbine ne descende en dessous de la valeur limite acceptable $X=0.88$; cette circonstance permet dès lors de bénéficier plus complètement de l'avantage des hautes pressions.

Théoriquement, il serait avantageux d'effectuer, au cours de la détente de la vapeur, deux on même plusieurs resurchauffes. Dans la pratique actuelle, on se limite le plus souvent à une seule resurchauffe, parce que celle-ci complique considérablement l'installation : cette dernière doit en effet, comprendre une triple tuyauterie reliant la machine motrice au générateur de vapeur. Comme la vapeur déjà détendue possède un volume massique relativement élevé, les dimensions de ces canalisations deviennent importantes. Cependant, la pratique d'une deuxième resurchauffe devient nécessaire pour les installations hypercritiques, surtout lorsque les températures de la vapeur ne sont pas très élevées, pour éviter d'avoir un degré d'humidité inacceptable en fin de détente.

I-3 LA REGENERATION :

Une autre variation importante du cycle de Rankine est le cycle à régénération, qui fait intervenir l'utilisation de réchauffeurs dans lesquelles, la vapeur soutirée de la turbine réchauffe l'eau extraite du condenseur avant sa réintroduction dans le générateur de vapeur. Un tel cycle est représenté sur le schéma de la figure 6-a et les évolutions correspondantes du fluide moteur sur le diagramme (T - S) de la figure 6-b.

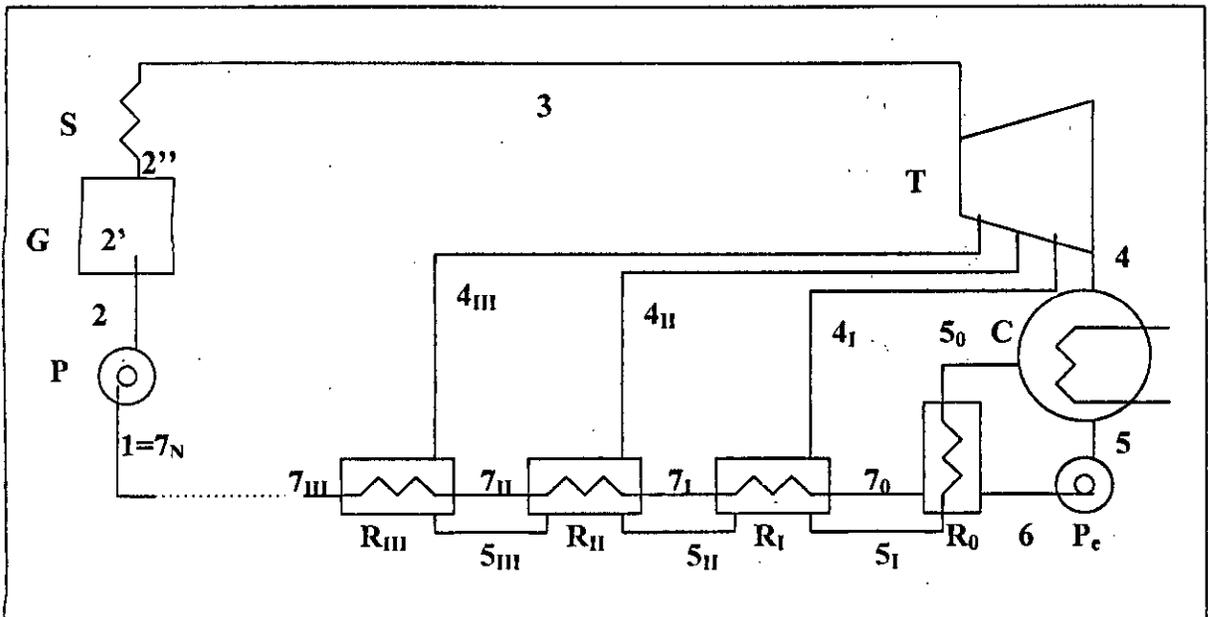


Figure 6-a : Cycle à régénération

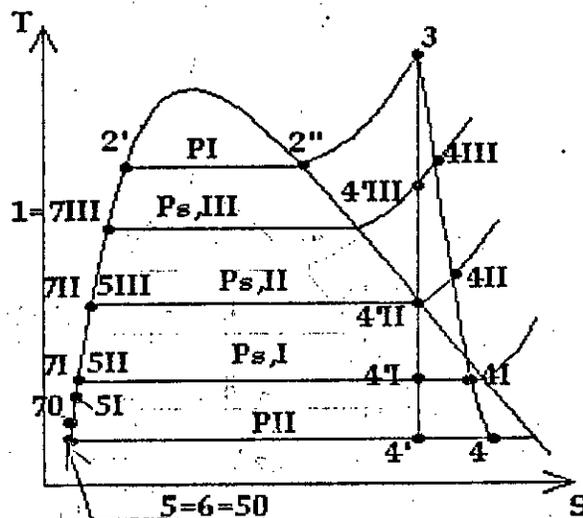


Figure 6-b : Diagramme T-S correspondant
à un cycle à régénération

Après la détente (3,4) de la vapeur dans la turbine, elle se condense dans le condenseur C et en sort à l'état 5 qu'on confond à titre d'approximation avec l'état 6 à la sortie de la pompe d'extraction P_e .

A partir du point 6, le liquide traverse une série de réchauffeurs R_I, R_{II}, \dots, R_N chauffés par la vapeur prélevée à la turbine aux points $4_I, 4_{II}, \dots, 4_N$ aux pressions $P_{S,I}, P_{S,II}, \dots, P_{S,N}$, respectivement.

Au contact de la surface de chauffe du réchauffeur R_i , la vapeur se condense et, devenue liquide, subit un sous refroidissement jusqu'à l'état 5_i ; de son côté l'eau refoulée par la pompe est réchauffée et passe de l'état 7_{i-1} à l'état 7_i .

Le condensât du réchauffeur R_I est ensuite renvoyé au condenseur C. De même, les condensâts des autres réchauffeurs sont renvoyés en cascade à travers les réchauffeurs situés en amont vers le condenseur C.

A l'état 7_N , l'eau quitte le dernier réchauffeur et est reprise par la pompe alimentaire P_a qui l'envoie dans la suite du circuit. Comme le fluide doit à l'aspiration de la pompe P_a se trouver sous forme liquide, la pression à la sortie de P_e doit être supérieure à la pression de saturation correspondant à la température au point 7_N .

Pour pouvoir mieux ressentir l'effet de la régénération sur les caractéristiques du cycle, étudions le cas d'un seul soutirage, puis essayons de généraliser à plusieurs soutirages :

I-3-a Étude du cycle à un soutirage :

Choisissons par exemple le soutirage II représenté sur la figure 6. Nous aurons donc : $s_1 \equiv s_{II}$, $7_0 \equiv 7_I$, $7_{II} \equiv 7_{III} \equiv \dots \equiv 7_N \equiv 1$.

Soit Y_{II} la masse de vapeur soutirée par kg de vapeur passant dans le condenseur.

Le travail W est donné par :

$$W = h_3 - h_4 + Y_{II} \cdot (h_3 - h_{4II}) \quad (I-17).$$

D'autre part, la quantité de chaleur correspondante Q reçue par le fluide dans la chaudière s'élève à :

$$Q = (1 + Y_{II}) \cdot (h_3 - h_{7II}) = (1 + Y_{II}) \cdot ((h_3 - h_5) - (h_{7II} - h_5)) \quad (I-18).$$

Le bilan d'énergie dans le réchauffeur R_{II} nous permet d'écrire que :

$$Y_{II} \cdot (h_{4II} - h_5) = (1 + Y_{II}) \cdot (h_{7II} - h_5) \quad (I-19).$$

D'où :

$$Y_{II} = (h_{7II} - h_5) / (h_{4II} - h_{7II}) \quad (I-20).$$

et l'expression de Q devient :

$$Q = h_3 - h_5 + Y_{II} \cdot (h_3 - h_{4II}) \quad (I-21).$$

Ainsi, nous pouvons écrire pour le cycle l'expression du rendement :

$$\eta_t \cdot \eta_i = \frac{h_3 - h_4 + Y_{II} \cdot (h_3 - h_{4II})}{h_3 - h_5 + Y_{II} \cdot (h_3 - h_{4II})} \quad (I-22).$$

Soit :

$$\eta_t \cdot \eta_i = \frac{h_3 - h_4 + \varepsilon_1}{h_3 - h_5 + \varepsilon_1} \quad (\text{I-23}).$$

Où

$$\varepsilon_1 = Y_{II} \cdot (h_3 - h_{4II})$$

La forme de cette dernière expression nous démontre directement la supériorité du cycle à soutirage sur le cycle de Rankine-Hirn. La valeur de $\eta_t \cdot \eta_i$ est en effet, supérieure à celle de :

$$\eta_t' \cdot \eta_{s,i} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_5} \quad (\text{I-24}).$$

Vu que le maximum de ε_1 correspond au maximum de $\eta_t \cdot \eta_i$, il suffirait, théoriquement, de chercher la pression $P_{s,II}$ qui rend la valeur ε_1 maximale (figure 7). Les résultats expérimentaux affirment par ailleurs que la pression optimum de soutirage est très voisine de celle qui divise en deux parties égales la chute totale d'enthalpie due à la détente (3,4).

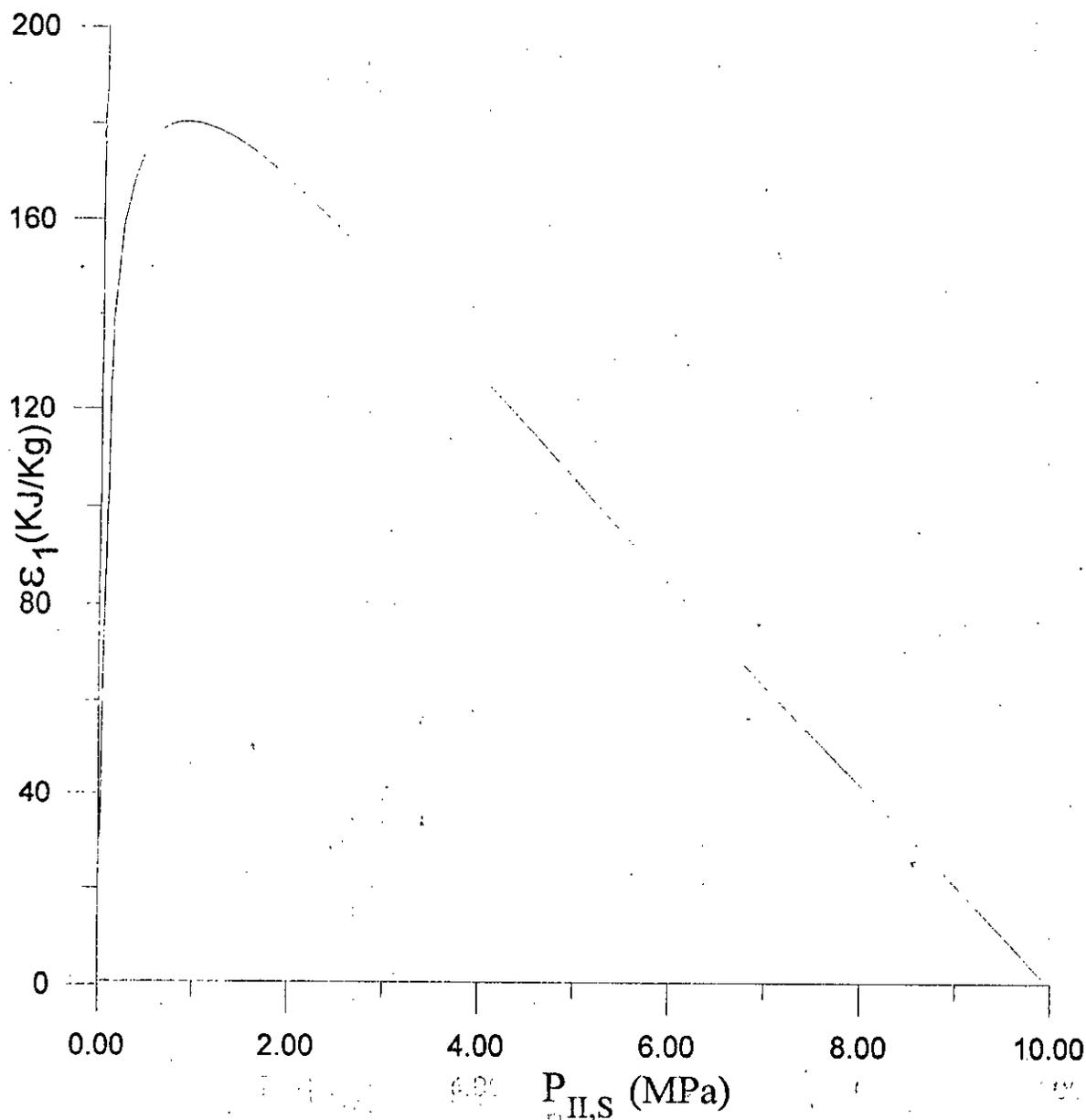


Figure 7 :Variation de ϵ_1 en fonction de $P_{H,S}$

I-3-b Étude du cycle à plusieurs soutirages :

Ajoutons au soutirage précédent un deuxième soutirage et considérons les deux cas suivants :

- *Le deuxième soutirage est situé en amont du premier :* (figure 8)

Soit 4_{III} ce soutirage.

Le travail W par kg de vapeur au condenseur est donné par :

$$W = h_3 - h_4 + Y_{II} \cdot (h_3 - h_{4II}) + Y_{III} \cdot (h_3 - h_{4III}) \quad (I-25)$$

La chaleur reçue par le fluide s'élève à

$$Q = (1 + Y_{II} + Y_{III}) \cdot (h_3 - h_{7III}) \quad (I-26)$$

D'où :

$$Q = (1 + Y_{II} + Y_{III}) \cdot ((h_3 - h_5) - (h_{7III} - h_{7II}) - (h_{7II} - h_5)) \quad (I-27)$$

En ce qui concerne les réchauffeurs, on sait que les températures de sortie des condensats (ici T_{5II} et T_{5III}) d'une part, et les températures d'entrée d'eau (ici T_{7I} et T_{7II}) d'autre part, sont peu différentes de celles de saturation correspondant aux pressions de soutirage (ici $P_{S,II}$ et $P_{S,III}$). Aussi admettra-t-on dans les bilans des réchauffeurs les égalités :

$$T_{5II} = T_{7I}$$

et $T_{5III} = T_{7II}$

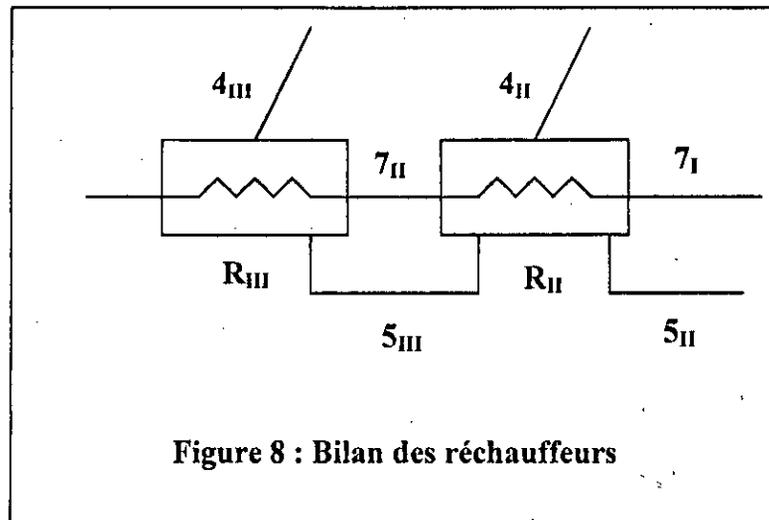


Figure 8 : Bilan des réchauffeurs

Ceci nous permet de faire les bilans suivants :

Bilan du réchauffeur R_{II} :

$$Y_{II}.h_{4II} + (1+Y_{II}+Y_{III}).h_{7I} + Y_{III}.h_{5III} = (1+Y_{II}+Y_{III}).h_{7II} + (Y_{II}+Y_{III}).h_{5II} \quad (I-28)$$

En tenant compte des égalités précédentes on arrive à :

$$Y_{II} = \frac{h_{7II} - h_5}{h_{4II} - h_{7II}} \quad (I-29)$$

Bilan du réchauffeur R_{III} :

$$Y_{III}.h_{4III} + (1+Y_{II}+Y_{III}).h_{7II} = (1+Y_{II}+Y_{III}).h_{7III} + Y_{III}.h_{5III} \quad (I-30)$$

En tenant compte des égalités précédentes on arrive à :

$$Y_{III} = \frac{(1+Y_{II}).(h_{7III} - h_{7II})}{h_{4III} - h_{7III}} \quad (I-31)$$

L'expression de Q devient :

$$Q = h_3 - h_5 + Y_{II}.(h_3 - h_{4II}) + Y_{III}(h_3 - h_{4III}) \quad (I-32)$$

ou bien, avec $\varepsilon_2 = Y_{II} \cdot (h_3 - h_{4II}) + Y_{III} \cdot (h_3 - h_{4III})$:

$$Q = h_3 - h_5 + \varepsilon_2 \quad (I-33)$$

et celle du rendement :

$$\eta_t \cdot \eta_i = \frac{h_3 - h_4 + \varepsilon_2}{h_3 - h_5 + \varepsilon_2} \quad (I-34)$$

Étant donné que ε_2 est supérieur à ε_1 , on peut conclure que le fait d'ajouter un soutirage en amont du premier améliore le rendement du cycle. et d'une façon générale, un soutirage ajouté en amont d'une série de soutirages existant n'a pas d'influence sur les débits de ceux-ci et donne toujours lieu à un accroissement du rendement.

- *Le deuxième soutirage est situé en aval du premier* : (figure 6)

Soit 4_1 ce soutirage :

Les bilans d'énergie dans les réchauffeurs R_I et R_{II} , nous permettent d'écrire :

$$Y_{II}' \cdot (h_{5II} - h_5) + Y_I \cdot (h_{4I} - h_5) = (1 + Y_I + Y_{II}') \cdot (h_{7I} - h_5) \quad (I-35)$$

$$Y_{II}' \cdot (h_{4II} - h_{5II}) = (1 + Y_I + Y_{II}') \cdot (h_{7II} - h_{7I}) \quad (I-36)$$

Pour arriver à :

$$Y_I = \frac{h_{7I} - h_5}{h_{4I} - h_{7I}} \quad (I-37)$$

$$Y_{II}' = \frac{(1 + Y_I) \cdot (h_{7II} - h_{7I})}{h_{4II} - h_{7II}} \quad (I-38)$$

D'où

$$Y_{II}' = \frac{h_{7II} - h_{7I} + Y_I \cdot (h_{7II} - h_{7I})}{h_{4II} - h_{7II}} \quad (I-39)$$

Mais on a aussi :

$$Y_I \cdot (h_{7II} - h_{7I}) = (h_{7I} - h_5) \cdot \frac{h_{7II} - h_{7I}}{h_{4I} - h_{7I}} < h_{7I} - h_5 \quad (I-40)$$

Il nous apparaît clairement que :

$$Y_{II}' < Y_{II} \text{ (voir équation (I-29))}$$

Cependant, en ajoutant membre a membre les équations (I-35) et (I-36), on obtient :

$$Y_{II}' \cdot (h_{4II} - h_5) + Y_I \cdot (h_{4I} - h_5) = (1 + Y_I + Y_{II}') \cdot (h_{7II} - h_5) \quad (I-41)$$

ou encore :

$$(Y_I + Y_{II}') \cdot (h_{4II} - h_{7II}) = h_{7II} - h_5 + Y_I \cdot (h_{4II} - h_{4I}) \quad (I-42)$$

relation qui monte que :

$$Y_I + Y_{II}' > Y_{II} \quad (I-43)$$

L'expression finale du rendement nous donne :

$$\eta_t \cdot \eta_i = \frac{h_3 - h_4 + \varepsilon_2'}{h_3 - h_5 + \varepsilon_2'} \quad (I-44)$$

Avec :

$$\varepsilon_2' = Y_I \cdot (h_3 - h_{4I}) + Y_{II}' \cdot (h_3 - h_{4II}) \quad (I-45)$$

Remarquons que :

$$(1 + Y_I + Y_{II}') \cdot (h_3 - h_{7II}) > (1 + Y_{II}) \cdot (h_3 - h_{7II}) \quad (I-46),$$

$$(\text{puisque } Y_{II}' + Y_I > Y_{II})$$

On a donc :

$$Q \text{ (2soutirages)} = h_3 - h_5 + \varepsilon_2' > Q \text{ (1 soutirage)} = h_3 - h_5 + \varepsilon_1.$$

d'où :

$$\varepsilon_2' > \varepsilon_1 \quad (I-47)$$

Donc le fait d'ajouter un soutirage en aval du premier à amélioré le rendement du cycle, et d'une façon générale, un soutirage ajouté en aval d'une série de soutirages existants entraîne une augmentation du rendement et des débits sauf de celui du soutirage voisin, qui subit une diminution, celle-ci étant toutefois inférieure au débit de soutirage ajouté.

D'une façon générale, pour un cycle comportant n soutirages, pour le soutirage k nous avons :

$$W = h_3 - h_4 + \varepsilon_K \quad (I-48)$$

$$Q = h_3 - h_5 + \varepsilon_K \quad (I-49)$$

$$\eta_t \cdot \eta_i = \frac{h_3 - h_4 + \varepsilon_K}{h_3 - h_5 + \varepsilon_K} \quad (I-50)$$

$$\varepsilon_K = \sum_{i=1}^K Y_i (h_3 - h_{4i}) \quad (I-51)$$

$$Y_1 = \frac{h_{71} - h_5}{h_{41} - h_{71}} \quad (I-52)$$

$$Y_i = (1 + Y_1 + \dots + Y_{i-1}) \cdot \frac{h_{7i} - h_{7i-1}}{h_{4i} - h_{7i}} \quad (I-53)$$

Finalement, l'expérience affirme que l'emplacement optimum de n soutirages est celui qui divise la différence d'enthalpie due à la détente en $n+1$ parties égales. Cette division définit n états intermédiaires dont on peut adopter les pressions comme pressions optimales de soutirage.

CHAPITRE II

CONSIDERATIONS SUR LES PARAMETRES PERTINENTS DU CYCLE A VAPEUR

II-1 CARACTERISTIQUES DE VAPEUR :

Des efforts considérables sont consacrés à la recherche de matériaux permettant l'utilisation de la vapeur avec des caractéristiques de plus en plus élevées. L'objectif principal en est d'améliorer le rendement potentiel du cycle thermique dans lequel le rôle de la turbine à vapeur consiste à transformer en énergie mécanique une partie de plus en plus importante de l'énergie primaire libérée par le combustible.

La pression et la température de la vapeur ne doivent pas être considérées comme deux variables entièrement indépendantes. La combinaison des valeurs choisies pour ces deux variables doit se faire de telle manière à éviter que la vapeur ne parvienne au condenseur en état de vapeur surchauffée (une possibilité en présence de la resurchauffe) ou en état de vapeur trop humide (une possibilité en l'absence de la resurchauffe).

Une bonne partie du gain thermique réalisé grâce à un choix de caractéristiques de vapeur vive plus élevées, provient d'une réduction du débit volumique parvenant au condenseur d'une part, et de la réduction du débit de chaleur à évacuer par l'eau de refroidissement par kilowatt-heure produit, d'autre part, cette seconde réduction étant la conséquence directe de la première. Une pression plus élevée de la vapeur vive justifie aussi un surplus de vapeur extraite pour la régénération, réduisant encore par la même occasion les débits qui arrivent au condenseur.

Par ailleurs, pour une installation de puissance donnée, le débit volumique à travers la turbine HP décroît lorsqu'on augmente la pression de vapeur vive, produisant ainsi une augmentation des pertes par fuite de vapeur

et d'autres pertes associées à l'aubage. Donc, pour tirer pleinement profit de l'augmentation de la pression de vapeur vive, il est indispensable de la faire accompagner d'une augmentation de la puissance de l'installation.

Enfin, on n'insistera jamais assez sur le fait que, pour tirer le plus grand bénéfice de l'amélioration des caractéristiques de la vapeur vive, il est impératif que la pression et la température croissent en tandem.

II-2 TEMPERATURE FINALE DE L'EAU D'ALIMENTATION :

Le choix d'une valeur pour la température finale de l'eau d'alimentation (température d'arrivée de l'eau d'alimentation à l'entrée du générateur de vapeur), doit tenir compte non seulement de son impact sur le rendement du cycle (pour lequel il serait avantageux d'avoir cette température aussi proche que possible de la température d'ébullition), mais aussi de son effet sur la conception du générateur de vapeur lui-même.

L'expérience montre que la limite pratique de l'efficacité des réchauffeurs d'air est de 92 à 93%. Des efficacités plus élevées sont difficiles à obtenir ou à justifier.

Dans un exemple rapporté par SILVESTRI [2] sur un générateur de vapeur utilisant le charbon comme combustible avec les spécifications suivantes :

- température des fumées à la cheminée : entre 129 et 141 °C, .
- température d'entrée d'air au réchauffeur : 20°C,
- efficacité du réchauffeur : 93%, ce qui donne une température des fumées à la sortie de l'économiseur entre 360 et 371°C, la limite de la température finale de

l'eau d'alimentation se trouve entre 310°C et 320°C avec une différence de 42° C, ou plus, entre l'eau alimentaire et les fumées à l'entrée de l'économiseur.

Avec le gaz naturel comme combustible, les fumées pourraient être refroidies à des températures plus basses à la cheminée et on pourrait penser que la limite de la température finale de l'eau d'alimentation devrait être inférieure à 310°C.

II-3 LES PRESSIONS DE LA PREMIERE ET DE LA DEUXIEME RESURCHAUFFE :

La pression de première resurchauffe et la pression de seconde resurchauffe pourraient être choisies dans une large fourchette, sans que la consommation spécifique nette et le rendement du cycle ne subissent une variation significative qui justifierait un choix très précis de ces deux paramètres [1],[2].

En plus de ce qui a été dit dans le chapitre I concernant la resurchauffe, il faut noter que le choix de la pression de première resurchauffe doit prendre en considération la condition limite imposée à la température finale de l'eau d'alimentation, condition dictée par la conception du générateur de vapeur et les conditions de fonctionnement de ce dernier. En règle générale, si le premier soutirage est effectué en même temps que la resurchauffe à la sortie du corps HP, la température de saturation qui correspond à la pression de resurchauffe ne doit pas être supérieure à la valeur limite que la température finale que l'eau d'alimentation est autorisée à prendre à l'entrée du générateur de vapeur. Par conséquent, cette condition doit être vérifiée lors du choix d'une pression de resurchauffe.

La figure 9, tirée de la référence [2], montre dans quelle mesure le choix des pressions de la première et de la seconde resurchauffes pourrait affecter la consommation spécifique nette d'un cycle dont les spécifications essentielles sont :

- Pression de vapeur vive : 31MPa
- Température de vapeur vive : 593 °C
- Températures des resurchauffes: 565°C/565°C

On voit, par exemple, que pour une première resurchauffe à 10 MPa, la deuxième resurchauffe pourrait se faire entre 1,72 et 2,48 MPa sans provoquer une modification de consommation spécifique de plus de 4,2 KJ/KWh. Remarquons au passage que ces deux valeurs limites représentent respectivement, 17,2% et 24,8% de la valeur de la pression de première resurchauffe.

Par ailleurs, l'analyse complète du graphe en question, montre que la pression de seconde resurchauffe peut toujours être choisie dans une plage allant de 16% à 25% de la valeur choisie pour la pression de première resurchauffe, tout en gardant un rendement quasiment constant. Voyons en effet que vaut une augmentation de 4.2 KJ/KWh en terme de rendement. Rappelons ici que la consommation spécifique nette représente la quantité d'énergie primaire exprimée en (KJ), qu'il faut apporter à l'installation pour chaque KWh électrique produit. Elle est définie par la relation :

$$C_n = \frac{3600}{\eta_{tot}} \quad (II-1)$$

2nd REHEAT PRESSURE (MPa)

0.500 psig 1,100/1,050/1,050 °F
(316 kg/cm²g x 593/566/566 °C)

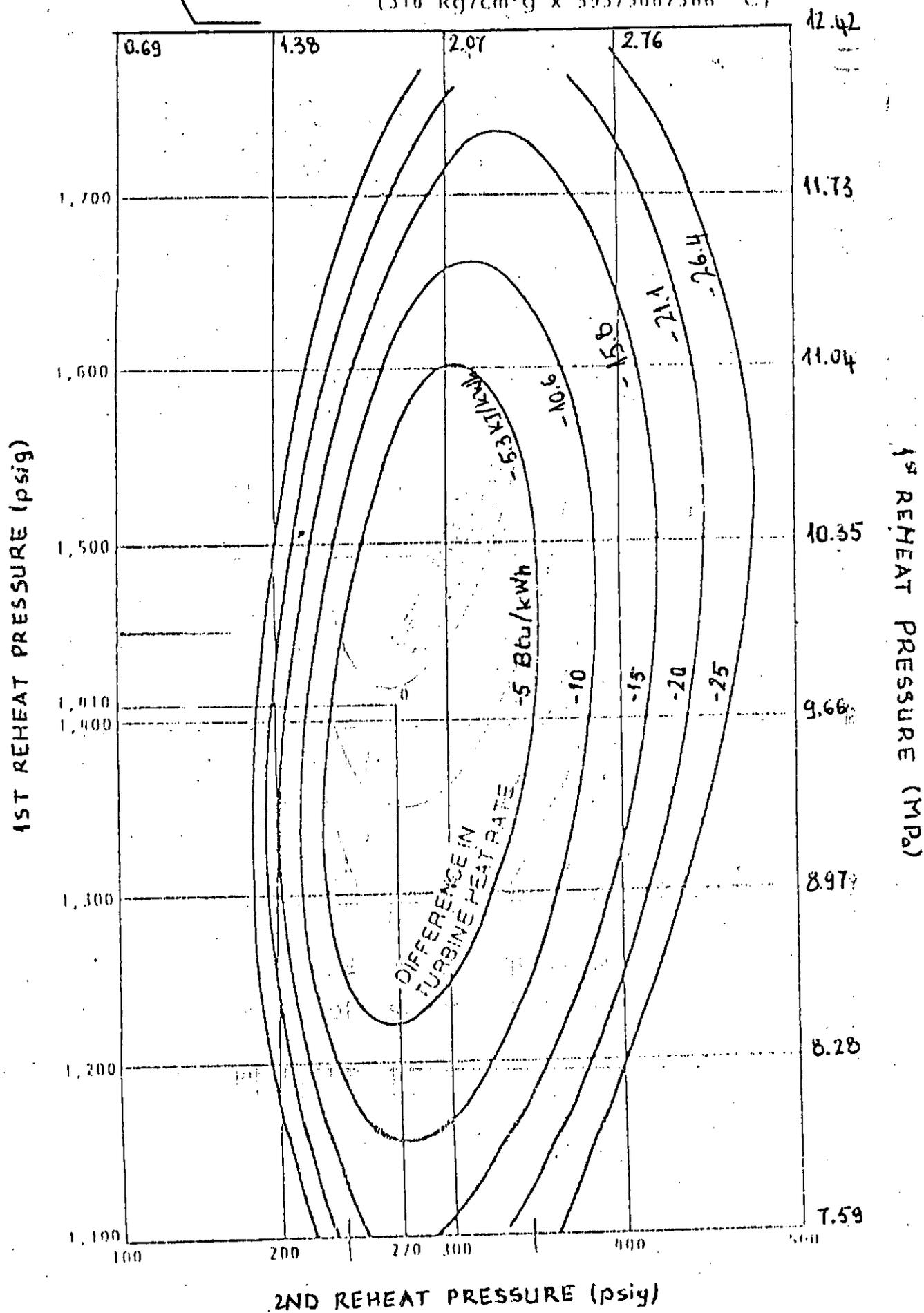


Fig. 9 : Combination of first and second reheat pressure

Ainsi le passage d'une consommation spécifique (C_n) à une consommation $C_n' = C_n + 4.2$, correspond au passage d'un rendement $\eta_{\text{tot}} = 3600/C_n$ à un rendement :

$$\eta_{\text{tot}}' = \frac{3600}{C_n'} = \frac{3600}{C_n + 4.2} = \frac{1}{\frac{C_n}{3600} + \frac{4.2}{3600}} = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{\text{tot}}} + \frac{4.2}{3600}}$$

Si l'on suppose par exemple que $\eta_{\text{tot}} = 0.40$, on aura $\eta_{\text{tot}}' = 0.3998$, ce qui correspond à $\Delta\eta_{\text{tot}} = 0.0002$ ou encore à $\Delta\eta_{\text{tot}}/\eta_{\text{tot}} = 0.047\%$, soit une variation relative inférieure à 5 pour 10 000.

Dans le passé, les unités à double resurchauffe ont fait les frais de la chute importante que subit la température de seconde resurchauffe, lorsque la charge décroît. Cette chute est aussi affectée par le choix de la pression de resurchauffe. Heureusement, la disponibilité, de nos jours, de générateurs de vapeur disposant de systèmes de contrôle asservissant la valeur de la pression de vapeur vive aux variations de charge, offre la possibilité de réduire la pression de vapeur vive lorsqu'il y a diminution de la charge, et permet de réduire la chute de température de resurchauffe et d'améliorer le rendement même en fonctionnement à charges partielles.

Notons enfin qu'une valeur très basse de la pression de seconde resurchauffe, même quand elle est sélectionnée dans le domaine optimum ci-dessus, pourrait avoir comme conséquence une vapeur encore surchauffée à la sortie du corps BP de la turbine.

II-4 COMBINAISON DE LA RESURCHAUFFE AVEC LES SOUTIRAGES :

La pratique de la resurchauffe sur un cycle de Rankine-Hirn permet d'améliorer le rendement. De même, la régénération pratiquée sur le cycle de Rankine-Hirn, permet une amélioration de rendement. Toutefois, la pratique simultanée de la resurchauffe et de la régénération permet de réaliser un gain inférieur à la somme des gains obtenus en pratiquant séparément la resurchauffe et la régénération. La raison en est que, avec la resurchauffe, les soutirages ont lieu à des températures plus élevées, et par conséquent les échanges thermiques entre l'eau d'alimentation et la vapeur de soutirage ont lieu à travers des différences de températures plus élevées dans les réchauffeurs, ce qui provoque des pertes d'exergie plus importantes. Donc, la régénération est une option moins intéressante quand elle est combinée à la resurchauffe. Cependant, ceci ne veut pas dire que la régénération ne doit pas être pratiquée sur des cycles à température de resurchauffe élevée. Il faut seulement noter que la seconde resurchauffe en particulier donne lieu à de grandes différences de température entre la vapeur de soutirage et l'eau alimentaire dont la température est voisine de celle de saturation correspondant à la pression de soutirage. Pour atténuer un tant soit peu ces effets, on recourt à l'utilisation de désurchauffeurs qu'on dispose judicieusement de manière à minimiser autant que possible les écarts de température relatifs aux échanges thermiques entre la vapeur de soutirage et l'eau d'alimentation.

Nous terminons enfin ce chapitre en signalant qu'un accroissement par incréments successifs touchant plusieurs paramètres qui affectent le rendement du cycle à vapeur, conduit à des améliorations de rendement décroissantes. Il en

est ainsi du nombre de réchauffeurs, du nombre de resurchauffes, de la température finale de l'eau d'alimentation, de la pression et de la température de vapeur vive. C'est la raison pour laquelle des considérations technico-économiques doivent fixer les limites au delà desquelles l'augmentation des paramètres ci dessus n'est pas justifiée.

Ces considérations, vont nous être d'une grande utilité dans l'élaboration du programme de calcul du chapitre suivant, programme qui va d'ailleurs nous permettre de vérifier certaines de ces considérations et de faire le calcul thermodynamique complet de n'importe quel cycle à vapeur si l'on a ses spécifications de base.

CHAPITRE III

**ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE
TURBINE COMPLETE ET ELABORATION D'UN
PROGRAMME DE CALCUL SERVANT A DETERMINER
LES LIMITES POTENTIELLES DES CENTRALES
THERMIQUES**

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

III-1 DESCRIPTION D'UNE INSTALLATION TYPE :

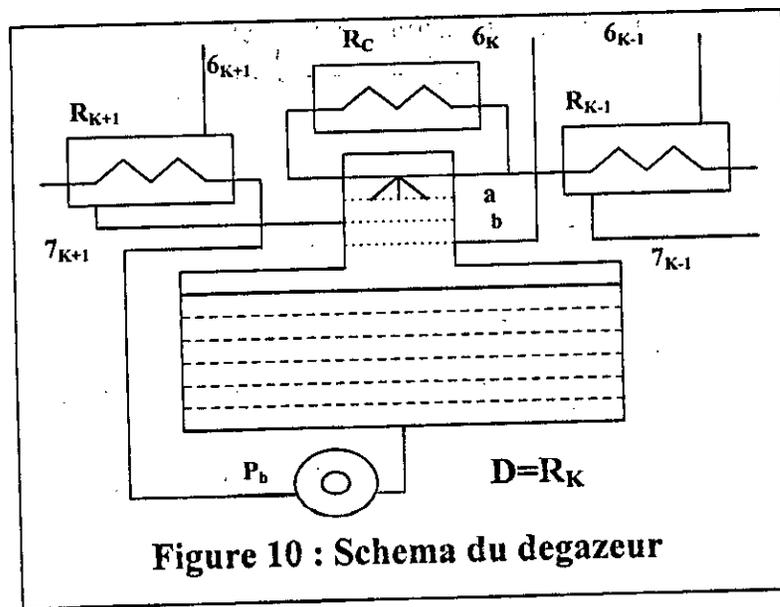
Une turbine complète est une turbine réalisée en trois corps ; un corps HP, un corps MP et un corps BP (en pratique subdivisé à partir d'une certaine pression en deux ou en plusieurs flux).

Dans l'analyse qui va suivre, nous allons considérer deux variantes :

Une variante (A) comportant seulement une resurchauffe et une variante (B) comportant deux resurchauffes (Figure 12).

L'installation comprend (n) soutirages, dont le $K^{\text{ième}}$ alimente un réchauffeur à mélange jouant en même temps le rôle de dégazeur, tandis que les autres soutirages alimentent des réchauffeurs à surface qui ont l'avantage de minimiser le nombre de pompes utilisées au niveau du poste d'eau.

Le réchauffeur dégazeur est représenté schématiquement à la figure 10.



CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR

Il est constitué d'un corps cylindrique vertical qui reçoit en (a) l'eau provenant des réchauffeurs situés en amont, $R_1, R_{II}, \dots, R_{k-1}$. Cette eau est dispersée au moyen de pulvérisateurs et est ralentie dans sa chute par un système de plateaux disposés en chicanes. La vapeur provenant du soutirage est introduite en (b) à la partie inférieure du corps cylindrique et traverse les plateaux de bas en haut en contre-courant de l'eau pulvérisée, au contact de laquelle elle se condense laissant s'échapper les gaz incondensables par le sommet du corps cylindrique.

Il est à signaler que l'avantage de la dispersion réside dans le fait que l'eau présente une surface très importante favorisant les échanges de chaleur et de matière et par conséquent intensifiant le dégagement des gaz dissous dans l'eau. Le corps cylindrique est complété par la bêche alimentaire dont la capacité est telle qu'elle puisse assurer le fonctionnement de toute l'installation à pleine charge pendant 15 à 30 minutes.

La circulation de l'eau entre le condenseur et le générateur de vapeur est assurée par trois pompes : la pompe d'extraction P_c , la pompe de la bêche alimentaire P_b et enfin la pompe alimentaire P_a . La réintroduction dans le circuit principal de l'eau condensée provenant des soutirages se fait par des réaspirations en cascade de chaque réchauffeur vers celui situé en amont, et du dernier réchauffeur R_1 vers le condenseur C.

Les réchauffeurs R_i peuvent être équipés, là où cela est utile, de désurchauffeurs R'_i et éventuellement de sous-refroidisseurs R_0 . Ainsi, lorsque la vapeur soutirée représente encore une surchauffe importante au point d'extraction il est judicieux d'adjoindre, conformément à la figure 11,

CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
 COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
 CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
 POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR

au réchauffeur d'eau, un échangeur dans lequel on utilise la chaleur de surchauffe de la vapeur préalablement à sa chaleur de condensation.

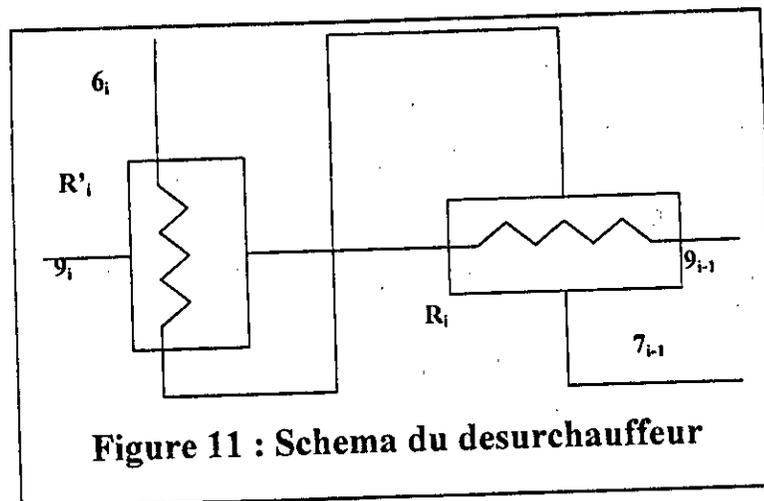


Figure 11 : Schema du desurchauffeur

Dans les appareils de la figure 11, la vapeur soutirée en 6_i se désurchauffe dans l'échangeur (désurchauffeur) R'_i et se condense ensuite dans le réchauffeur R_i , à la température de saturation correspondant à la pression de soutirage $P_{s,i}$, tandis que l'eau arrivant en 9_{i-1} , se réchauffe successivement dans le réchauffeur R_i , puis dans le désurchauffeur R'_i . Cependant, du fait de la resurchauffe, la température de la vapeur du $n^{\text{ième}}$ soutirage par exemple, peut être inférieure à celle du soutirage qui le précède, soit le soutirage $(n-1)$. Dans ce cas il serait opportun, d'un point de thermodynamique de disposer sur le circuit de l'eau, le désurchauffeur R'_n avant le désurchauffeur R'_{n-1} . Ceci tient au fait qu'il est avantageux de réaliser des échanges de chaleur à travers de plus petites différences de température.

CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
 COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
 CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
 POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR

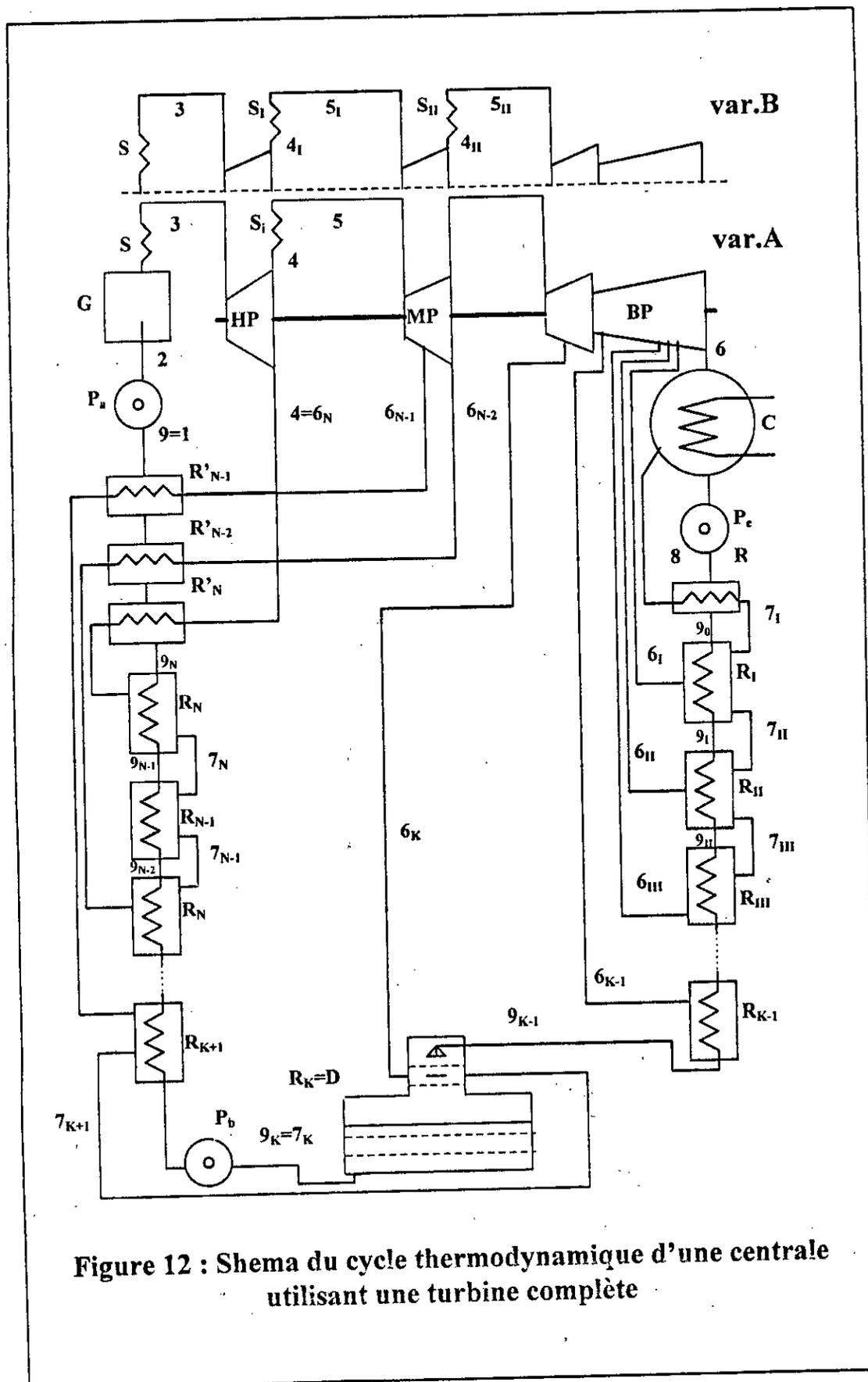


Figure 12 : Schéma du cycle thermodynamique d'une centrale utilisant une turbine complète

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

III-2 ALGORITHME DE CALCUL DU CYCLE A VAPEUR :

Afin de déterminer les limites potentielles des centrales thermiques à vapeur, il a fallu élaborer un programme de calcul en mesure de nous permettre le calcul des caractéristiques optimales de l'installation, à savoir :

- le nombre de resurchauffes ;
- les pressions et les températures aux différents points pertinents du cycle ;
- les chutes d'enthalpie dans les différents corps de la turbine ;
- les débits de vapeur dans les différents soutirages,
- le travail moteur ;
- la chaleur à fournir au fluide moteur dans le générateur de vapeur ;
- le rendement total du cycle ;
- la consommation spécifique nette ;
- pour une puissance donnée, le débit de vapeur à la sortie de la turbine et celui passant du générateur de vapeur au corps (HP) de la turbine ainsi que la consommation de combustible.

III-2-a HYPOTHÈSES DE CALCUL :

- *Choix des pressions de resurchauffe :*

Conformément aux critères d'optimalité développés dans le chapitre I quant au choix des pressions de resurchauffes, on a opté pour une pression de première resurchauffe égale à 0.214 de la pression de vapeur vive et une pression de deuxième resurchauffe égale à 0.194 de la pression de première resurchauffe.

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

- *Estimation des pertes calorifiques et de pression dans le circuit de la vapeur :*

Les pertes calorifiques et les pertes de pression dans le générateur de vapeur, dans les tuyauteries et les organes de réglage entre la chaudière et la turbine, dans les resurchauffeurs et les tuyauteries associées, sont fixées comme ci-dessous par comparaison avec des résultats d'expériences [1]:

	Pertes de pressions	Pertes calorifiques
Dans le générateur de vapeur 2--(3)	6% de P_3	$\eta_G=0.92$
Entre le générateur de vapeur et la turbine HP (3)—3	variant suivant: $\Delta P=0.01(5+0.15(P_3/14))P_3$	$\sim T_3/100$
Entre la sortie de la turbine HP et l'entrée du resurchauffeur 4_I--(4_I)	1.7% de P_{4I}	$\sim T_{4I}/100$
Dans le premier resurchauffeur (4_I)--(5_I)	5.5% de P_{4I}	$\sim T_{(4I)}/100$
Entre la sortie du premier resurchauffeur et l'entrée du turbine MP (5_I)--5_I	3% de $P_{(5I)}$	$\sim T_{(5I)}/100$
Entre la sortie de turbine MP et l'entrée du deuxième resurchauffeur 4_{II}--(4_{II})	3% de P_{4II}	$\sim T_{4II}/100$
Dans le deuxième resurchauffeur (4_{II})--(5_{II})	3% de $P_{(4II)}$	$\sim T_{(4II)}/100$
Entre la sortie du deuxième resurchauffeur et l'entrée de la turbine BP (5_{II})--5_{II}	3% de P_{5II}	$\sim T_{(5II)}/100$

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

Les pertes calorifiques et les pertes de pression sont négligées dans les autres parties du circuit.

Remarque : A la sortie du condenseur on admet un sous-refroidissement de l'eau de 3°C.

• ***Pertes mécaniques et pertes dues aux machines accessoires:***

Dans les calculs concernant les soutirages et le travail net de l'installation nous avons négligé les travaux des différentes pompes. Cependant, pour le calcul du rendement global de l'installation, nous avons estimé la somme des travaux consommés par tous les accessoires à $(1-\eta_a)$ du travail net, où η_a appelé rendement des accessoires, peut prendre une valeur allant de 0.933 à 0.945 suivant les caractéristiques de la vapeur vive, les plus grandes valeurs correspondant aux plus basses caractéristiques de la vapeur.

Pour tenir compte des pertes par frottements mécaniques sur les paliers associés aux différentes machines en rotation, nous avons adopté un rendement mécanique $\eta = 0.911$.

• ***Répartition des soutirages et hypothèses concernant le calcul des débits de soutirage:***

Nous savons d'expérience, comme il a été dit au chapitre I que les pressions optimales de soutirage seront voisines de celles qui correspondent aux points obtenus en divisant la chute d'enthalpie totale de la détente en $(n+1)$ parties égales si le nombre de soutirage choisi est (n) . cependant, la mise en pratique de ce critère ne doit pas être systématique pour un certain nombre de raisons. En effet, lorsqu'il y a resurchauffe ou double resurchauffe, il n'y a plus

CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR

une seule détente de la vapeur, mais deux ou trois. comment répartir dans ce cas les (n) soutirages sur les différentes détentes? Par ailleurs, lorsque la resurchauffe est combinée avec les soutirages, comme c'est le cas dans toutes les grandes centrales, l'installation devient plus compliquée et des considérations économiques peuvent influencer le choix de l'emplacement de certains soutirages. Ainsi, afin de diminuer le débit de vapeur à l'entrée de chaque resurchauffeur, on effectue un soutirage à l'échappement du corps HP et un soutirage à l'échappement du corps MP (lorsqu'il y a double resurchauffe) immédiatement avant le renvoi de la vapeur vers le resurchauffeur.

D'autre part, pour des caractéristiques très élevées de la vapeur destinée aux installations de grandes puissances, il y a avantage à multiplier les soutirages dans la dernière partie du corps BP afin de diminuer le débit volumique de la vapeur dans ces parties, le volume massique de la vapeur y devenant très grand.

A la lumière de ces considérations, nous placerons donc le $n^{\text{ème}}$ soutirage à la sortie du corps HP et, lorsqu'il y a une deuxième resurchauffe, le $(n-2)^{\text{ème}}$ soutirage sera placé à la sortie du corps MP et le $(n-1)^{\text{ème}}$ soutirage au point qui divise en deux parties égales la chute d'enthalpie dans le corps MP. Le reste des soutirages sera placé dans le corps BP comme suit :

On placera le nombre de soutirages restant, moins un, aux points qui divisent la chute d'enthalpie dans le corps BP en autant de parties égales et, le deuxième soutirage sera placé au point qui divise la chute d'enthalpie entre le $3^{\text{ème}}$ et le 1^{er} soutirages en deux parties égales.

CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR

Maintenant, pour les réchauffeurs, nous utiliserons les mêmes hypothèses qui ont déjà servi à établir les bilans des réchauffeurs au chapitre I et nous ne tiendrons pas compte explicitement dans le calcul, des désurchauffeurs R_i' que l'installation peut comporter, considérant que l'effet favorable de ceux-ci compense le caractère trop optimiste de l'hypothèse précédente : en réalité leur effet sera souvent encore plus avantageux [1].

On calcule donc les débits de vapeur soutirée par Kg de vapeur arrivant au condenseur à l'aide des relations (I-52) et (I-53) adaptées à notre cas :

$$Y_1 = \frac{h_{91} - h_7}{h_{61} - h_{91}} \quad (\text{III-1})$$

$$Y_i = (1 + Y_1 + \dots + Y_{i-1}) \cdot \frac{h_{9i} - h_{9i-1}}{h_{6i} - h_{9i}} \quad (\text{III-2})$$

III-2-b DONNÉES DE CALCUL :

Pour faire le calcul complet du cycle, il est nécessaire de fixer les données suivantes à chaque fois que le programme est exécuté :

- la pression de vapeur vive P_1 ,
- la pression au condenseur P_{11} ,
- le nombre de soutirages n ,
- les températures de la vapeur vive, de première et de deuxième resurchauffe T_3 , T_{51} et T_{511} ,
- les rendements isentropiques des différents corps de la turbine η_j ,

Et éventuellement,

- la puissance à l'accouplement W et le pouvoir calorifique du combustible C_p .

CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR

III-2-c : *Élaboration du programme*

Pour élaborer le programme de calcul, on a utilisé le logiciel "CATH1" (Thermodynamic tables, figures and charts) fait par : R.E.SONNTAG, Y.M.PARK et K.K.PARK de l'université de MICHIGAN (ANN ARBOR). C'est un logiciel qui calcule pour différentes substances, dont la vapeur d'eau, les caractéristiques thermodynamiques une fois que l'état d'équilibre de la substance en question est fixé par deux paramètres thermodynamiques quelconques. "CATH1" étant un programme exécutable, il a donc fallu pour avoir la possibilité de l'exploiter, écrire 8 programmes (bis1, ..., bis8) connectés entre eux par des "pipes", la commande finale étant :

bis1|CATH1|bis2|CATH1|bis3|CATH1|bis4|CATH1|bis5|CAHTH1|bis6|CATH1|bis7|CATH1|bis8.

Le programme général de calcul suit les étapes suivantes :

- Lecture de P_I , P_{II} , n , T_3 , T_{5I} , T_{5II} , η_j et éventuellement W et C_p
- *Identification des points 3, 5_I, 5_{II}* : (figure 13)

Le point 3 (entrée du corps HP):

Paramètres qui fixent l'état 3 :

T_3 : valeur lue

$$P_3 = P_I$$

Le point 5_I (entrée du corps MP):

Paramètres qui fixent l'état 5_I :

T_{5I} : valeur lue

$$P_{5I} = P_{intI} - \Delta P_{4I} - \Delta P_{45I} - \Delta P_{5I}$$

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

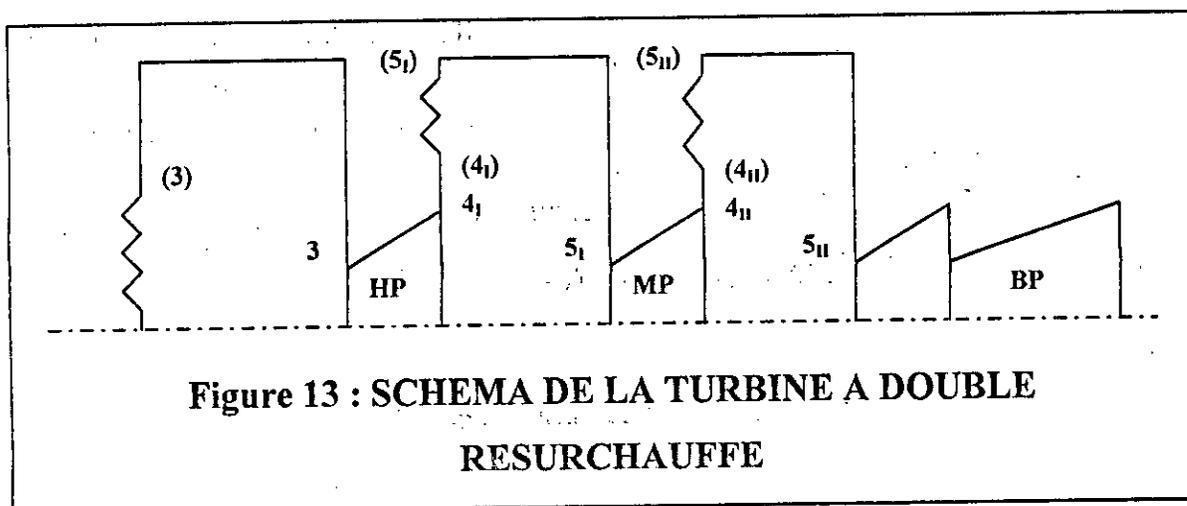
avec :

P_{int1} : pression de première resurchauffe.

ΔP_{4I} : perte de pression dans la conduite reliant le corps HP au premier resurchauffeur, elle est évaluée à 1.7% de P_{int1} .

ΔP_{45I} : perte de pression dans le premier resurchauffeur, évaluée à 5,5% de P_{int1}

ΔP_{5I} = Perte de pression dans la conduite reliant le premier resurchauffeur au corps MP évaluée à 3% de la pression à la sortie du resurchauffeur



**Figure 13 : SCHEMA DE LA TURBINE A DOUBLE
RESURCHAUFFE**

Le point 5_{II} (entrée du corps BP) :

Paramètres qui fixent l'état 5_{II} :

T_{5II} : valeur lue

$$P_{5II} = P_{int2} - \Delta P_{4II} - \Delta P_{45II} - \Delta P_{5II}$$

avec

P_{int2} : pression de deuxième resurchauffe, $p_{int2} = 0.194 P_{int1}$.

CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
 COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
 CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
 POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR

ΔP_{4II} : perte de pression dans la conduite reliant le corps MP au deuxième resurchauffeur, estimée à 3% de P_{int2} .

ΔP_{45II} : Perte de pression dans le deuxième resurchauffeur évaluée à 3% de P_{int2} comme la précédente

ΔP_{5II} : perte de pression dans la conduite reliant le deuxième resurchauffeur au corps BP elle est estimée à 3% de la pression à la sortie du deuxième resurchauffeur

Identification des points 6_f , 6_g , 3_s , 5_{Is} , 5_{IIs} : (voir le diagramme T-S de la fig 14)
 le point 6_f (sortie du condenseur s'il n'y avait pas de sous refroidissement) :

Paramètres qui fixent l'état 6_f :

$$P_{6f} = P_{II}$$

$$X_{6f} = 0$$

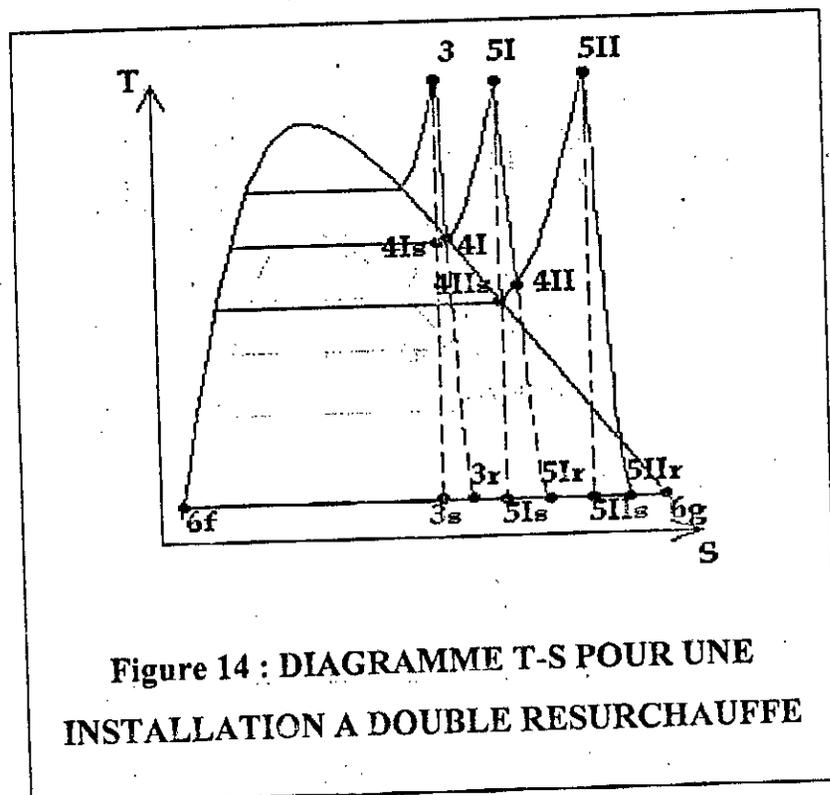


Figure 14 : DIAGRAMME T-S POUR UNE
 INSTALLATION A DOUBLE RESURCHAUFFE

CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR

le point 6_g (état de vapeur saturée dans le condenseur) :

Ce point est situé en dehors du cycle thermodynamique proprement dit mais son identification est nécessaire pour le calcul des états qui se trouvent sur la ligne de condensation 6_f - 6_g.

Paramètres qui fixent l'état 6_g :

$$P_{6g} = P_{II}$$

$$X_{6g} = 1$$

le point 3_s (état qu'aurait la vapeur à la sortie de la turbine si sa détente était isentropique et s'il n'y avait pas de resurchauffe) :

Paramètres qui fixent l'état 3_s :

$$P_{3s} = P_{II}$$

$$S_{3s} = S_3$$

Le point 5_{1s} (état qu'aurait la vapeur à la sortie de la turbine si sa détente était isentropique et s'il n'y avait qu'une seule resurchauffe) :

Paramètres qui fixent l'état 5_{1s} :

$$P_{51s} = P_{II}$$

$$S_{51s} = S_{5I}$$

Le point 5_{11s} (état qu'aurait la vapeur à la sortie de la turbine si la détente dans le corps BP après une deuxième resurchauffe était isentropique) :

Paramètres qui fixent l'état 5_{11s} :

$$P_{511s} = P_{II}$$

$$S_{511s} = S_{5II}$$

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

- *Identification des points 3_r , 5_{1r} , 5_{11r} (voir le diagramme T-S de la fig 14) :*

Point 3_r (point représentatif de l'état réel du mélange liquide - vapeur à la sortie de la turbine s'il n'y avait pas de resurchauffe) :

Paramètres qui fixent l'état 3_r :

$$P_{3r} = P_{II}$$

$$X_{3r} = \eta_{33r} \cdot X_{3s} + (1 - \eta_{33r}) \cdot \frac{h_3 - h_{6f}}{h_{6g} - h_{6f}}$$

point 5_{1r} (point représentatif de l'état réel du mélange liquide - vapeur à la sortie de la turbine s'il n'y avait qu'une seule resurchauffe) :

Paramètres qui fixent l'état 5_{1r} :

$$P_{51r} = P_{II}$$

$$X_{51r} = \eta_{5151r} \cdot X_{51s} + (1 - \eta_{5151r}) \cdot \frac{h_{51} - h_{6f}}{h_{6g} - h_{6f}}$$

Point 5_{11r} (point représentatif de l'état réel du mélange liquide - vapeur à la sortie de turbine dans le cas d'un cycle à double resurchauffe) :

paramètres qui fixent l'état 5_{11r} :

$$P_{511r} = P_{II}$$

$$X_{511r} = \eta_{511511r} \cdot X_{511s} + (1 - \eta_{511511r}) \cdot \frac{h_{511} - h_{6f}}{h_{6g} - h_{6f}}$$

- *Discussion 1:*

1. Si $X_{3r} > 0.9$, il y a risque de voir le point 6 se situer à la suite d'une resurchauffe dans le domaine surchauffé. On se contente donc d'une surchauffe et on fixe les deux identités : $3_s \equiv 6_s$, $3_r \equiv 6$.

CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR

2. Si $X_{3r} < 0.9$, on peut se permettre une resurchauffe :

2.1. Si $X_{51r} > 0.88$, il y a risque de voir le point 6 se situer à la suite d'une deuxième resurchauffe, dans le domaine surchauffé. On se contente donc d'une resurchauffe et on fixe les deux identités : $5_{1s} \equiv 6_s$, $5_{1r} \equiv 6$.

2.2. Si $X_{51r} < 0.88$, on peut se permettre une deuxième resurchauffe :

2.2.1 Si $X_{511r} > 0.98$, alors T_{511} est trop élevée, il faut donc la diminuer de manière à avoir le point 5_{11r} dans le domaine biphasique.

2.2.2 Si $X_{511r} < 0.98$, on fixe les identités : $5_{11s} \equiv 6_s$, $5_{11r} \equiv 6$.

Remarque: On a donc pu jusqu'à présent fixer le nombre de resurchauffes

• *Identification des points $4_{1s}, 4_{11s}$ (figure 14) :*

le point 4_{1s} (sortie théorique du corps HP) :

Paramètres qui fixent l'état 4_{1s} :

$$P_{41s} = P_{int1}$$

$$S_{41s} = S_3$$

Le point 4_{11s} (sortie théorique du corps MP) :

Paramètres qui fixent l'état 4_{11s} :

$$P_{411s} = P_{int2}$$

$$S_{411s} = S_{51}$$

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

• *Discussion 2 :*

1. L'installation ne comporte pas de resurchauffe :

Nous pouvons définir les enthalpies aux points de soutirages, situés sur la ligne isentropique 36_s de la manière suivante :

$$h_{6sI} = h_{6s} + \Delta h \quad (\text{III-3})$$

$$h_{6sII} = h_{6s} + (3/2).\Delta h \quad (\text{III-4})$$

$$h_{6si} = h_{6s} + (i-1) \Delta h, \quad (\text{Pour } i = 3, n) \quad (\text{III-5})$$

avec :

$$\Delta h = (h_3 - h_{6s})/n \quad (\text{III-6})$$

Les points de soutirages sont désormais fixés par les paramètres :

h_{6si} : calculés dans l'étape précédente

$$S_{6si} = S_3$$

Nous pouvons à présent calculer les enthalpies aux points de soutirages situés sur la ligne de détente réelle 36 soit :

$$h_{6i} = h_3 - \eta_{36i} \cdot (h_3 - h_{6si}), \quad (\text{pour } i = 1, n) \quad (\text{III-7})$$

Avec : η_{36i} : rendement isentropique de la turbine concernant la détente du point 3 au point 6_i

CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR

- *Identification des points 7,1,2,(3), 9(figure 12):*

le point 7 : (sortie du condenseur tenant compte d'un sous refroidissement de l'eau) :

Paramètres qui fixent l'état 7 :

$$T_7 = T_6 - \Delta t_{sr}$$

$$P_7 = P_{II}$$

ΔT_{sr} : sous refroidissement subi par l'eau lors de son passage dans le condenseur, fixé à 3°C.

Le point 1 (entrée de la pompe alimentaire) :

Paramètres qui fixent l'état 1 :

$$P_1 = P_{6sn} + \Delta P_{nl}$$

$$T_1 = T_{sat}(P_{6sn})$$

ΔP_{nl} : surpression imposée au point 1 pour que l'eau ne soit pas à l'état de mélange à l'entrée de la pompe alimentaire.

le point 2 (entrée du générateur de vapeur) :

Paramètres qui fixent l'état 2 :

$$P_2 = P_3 + \Delta P_{23}$$

$$h_2 = h_1 + \frac{v \cdot (P_2 - P_1)}{\eta_P}$$

ΔP_{23} : perte de pression entre l'entrée du générateur de vapeur et l'entrée de la turbine, évaluée à 6% pression d'entrée du corps HP.

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

v : volume spécifique du fluide évalué à $10^{-3} \text{m}^3/\text{Kg}$.

P_2 et P_3 en Kpa.

η_p : rendement isentropique de la pompe évaluée à 0.8.

Le point (3) (sortie du générateur de vapeur) :

Paramètres qui fixent l'état (3) :

$$T_{(3)} = T_3 + \Delta T_3$$

$$P_{(3)} = P_3 + \Delta P_3$$

Avec :

ΔT_3 : pertes calorifiques dans la conduite reliant la chaudière au corps HP, estimée à 1% de T_3

ΔP_3 : perte de pression dans la conduite reliant la chaudière au corps HP, variant suivant :

$$\Delta P_3 = \frac{(5 + 0.15(P_3 - 14)) \cdot P_3}{100} \quad (\text{III-8})$$

Les points 9_i (sortie de l'eau d'alimentation du réchauffeur R_i):

Paramètres qui fixent l'état 9_i :

$$P_{9_i} = P_i$$

$$T_{9_i} = T_{\text{sat}}(P_{6si})$$

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

- *Calcul des débits de vapeur des différents soutirages par Kg de vapeur subissant la détente complète :*

Le calcul des débits de soutirage se fait à l'aide des relations :

$$Y_1 = \frac{h_{91} - h_7}{h_{61} - h_{91}} \quad (\text{III-1})$$

$$Y_i = \left(1 + \sum_{j=1}^{i-1} Y_j\right) \cdot \frac{h_{9i} - h_{9i-1}}{h_{6i} - h_{9i}} \quad (\text{III-2})$$

A présent le *travail net* par Kg de vapeur subissant la détente complète s'obtient, en négligeant les travaux des différentes pompes, comme suit :

$$W = h_3 - h_6 + \sum_{i=1}^n Y_i \cdot (h_3 - h_{6i}) \quad (\text{III-9})$$

La *quantité de chaleur* reçue par le fluide moteur dans la chaudière par Kg de vapeur subissant la détente complète est à son tour donnée par :

$$Q = \left(1 + \sum_{i=1}^n Y_i\right) \cdot (h_{(3)} - h_2) \quad (\text{III-10})$$

Le *rendement global de l'installation*, correspondant à la puissance délivrée sur l'arbre de l'alternateur sera enfin obtenu à l'aide de la relation suivante :

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_G \cdot \eta_a \cdot \eta \cdot \frac{W}{Q} \quad (\text{III-11})$$

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

où :

$\eta_g = 0.92$ est le rendement du générateur de vapeur,

$\eta_a = 0.945$ est le rendement tenant compte du travail des accessoires négligé dans le calcul du travail net.

$\eta = 0.991$ est le rendement mécanique tenant comptes des pertes par frottement mécanique sur les paliers.

La consommation spécifique nette est donnée en KJ/KWh par :

$$C_n = \frac{3600}{\eta_{tot}} \quad (\text{III-12})$$

Si nous connaissons la puissance de l'installation on peut calculer le débit de vapeur à la sortie de la turbine en kg/h qui sera donné par :

$$m_6 = \frac{W.3600}{\eta. W} \quad (\text{III-13})$$

Et le débit de vapeur passant du générateur de vapeur au corps (HP) qui sera donné par

$$m_3 = (1 + \sum_{i=1}^n Y_i).m_6 \quad (\text{III-14})$$

Enfin la consommation de combustible sera obtenue au moyen de la relation :

$$m_c = \frac{Q. m_6}{\eta_G. C_P} \quad (\text{III-15})$$

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

2. L'installation comporte une resurchauffe :

Nous pouvons déterminer les enthalpies aux points de soutirages situés sur la ligne isentropique 56_s comme précédemment :

$$h_{6si} = h_{6s} + \Delta h \quad (\text{III-16})$$

$$h_{611} = h_{6s} + (3/2).\Delta h \quad (\text{III-17})$$

$$h_{6si} = h_{6s} + (i-1).\Delta h, \quad (\text{Pour } i = 3, n-1) \quad (\text{III-18})$$

$$h_{6sn} = h_{4s} \quad (\text{III-19})$$

avec :

$$\Delta h = (h_5 - h_{6s}) / (n-1).$$

Les points de soutirage sont désormais complètement fixés avec :

h_{6si} : calculés dans l'étape précédente

$$S_{6si} = S_5, \quad (\text{pour } i = 1, n-1) \quad (\text{III-20})$$

$$S_{6sn} = S_3 \quad (\text{III-21})$$

Nous pouvons maintenant déterminer les enthalpies aux points de soutirage situés sur la ligne de détente réelle 56 :

$$h_{6i} = h_5 - \eta_{56i} (h_5 - h_{6i}), \quad (\text{pour } i = 1, n-1) \quad (\text{III-22})$$

Et:
$$h_{6n} = h_3 - \eta_{34} (h_3 - h_{6sn}) \quad (\text{III-23})$$

CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR

avec :

η_{56i} : rendement isentropique de la turbine concernant la détente du point 5 au point 6_i .

η_{34} : rendement isentropique de la turbine concernant la détente du point 3 au point $6_n = 4$.

• *Identification des points 7, 1, 2, (3), (4), (5), 9_i :*

Les points 7, 1, 2, (3) et 9_i sont définis comme précédemment.

le point (4) (entrée du resurchauffeur) :

Paramètres qui fixent l'état (4) :

$$T_{(4)} = T_4 - \Delta T_4$$

$$P_{(4)} = P_4 - \Delta P_4$$

avec :

ΔT_4 : perte calorifique dans la conduite reliant le corps HP au resurchauffeur estimée à 1% de T_4 .

ΔP_4 : perte de pression dans la conduite reliant le corps HP au resurchauffeur estimée à 1.7% de P_4 .

Le point (5) (sortie du resurchauffeur) :

Paramètres qui fixent l'état :

$$T_{(5)} = T_5 + \Delta T_5$$

$$P_{(5)} = P_5 + \Delta P_5$$

61

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

avec :

ΔT_5 : perte calorifique dans la conduite reliant le resurchauffeur au corps MP, estimée à 1% de T_5 .

ΔP_5 : perte de pression dans la conduite reliant le resurchauffeur au corps MP, estimée à 3% de la pression à la sortie du resurchauffeur, soit :

$$\Delta P_5 = \frac{3 \cdot (P_4 - \Delta P_4 - \Delta P_{45})}{100} \quad (\text{III-24})$$

ΔP_{45} : perte de pression dans le resurchauffeur estimée à 5.5% de P_4 .

Le calcul des débits de vapeur des différents soutirages par Kg de vapeur subissant la détente complète se fait d'après les relations (III-1) et (III-2).

A présent le *travail net* par Kg de vapeur subissant la détente complète s'obtient, en négligeant les travaux des différentes pompes, comme suit :

$$W = (h_3 - h_4 + h_5 - h_6) + \sum_{i=1}^{n-1} Y_i \cdot (h_3 - h_4 + h_5 - h_{6i}) + Y_n \cdot (h_3 - h_4) \quad (\text{III-25})$$

La *quantité de chaleur* reçue par le fluide moteur dans la chaudière par Kg de vapeur subissant la détente complète est à son tour donnée par :

$$Q = (1 + \sum_{i=1}^n Y_i) (h_{(3)} - h_2) + (1 + \sum_{i=1}^{n-1} Y_i) (h_{(5)} - h_{(4)}) \quad (\text{III-26})$$

Le *rendement global de l'installation*, correspondant à la puissance délivrée sur l'arbre de l'alternateur sera enfin obtenu à l'aide de la relation suivante :

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_G \cdot \eta_a \cdot \eta \cdot \frac{W}{Q} \quad (\text{III-27})$$

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

où :

$\eta_g = 0.92$ est le rendement du générateur de vapeur,

$\eta_a = 0.933$ est le rendement tenant compte du travail des accessoires négligé dans le calcul du travail net.

$\eta = 0.991$ est le rendement mécanique tenant comptes des pertes par frottement mécanique sur les paliers.

Enfin, la consommation spécifique nette, le débit de vapeur à la sortie de la turbine ainsi que celui passant du générateur de vapeur au corps HP et la consommation de combustible seront respectivement calculés avec les relation (III-12), (III-13), (III-14) et (III-15).

3 - L'installation comporte deux resurchauffes :

Nous pouvons déterminer les enthalpies aux points de soutirage situés sur les lignes isentropiques $5_{II}6_s$ et $5_{I4}11_s$:

$$h_{6sI} = h_{6s} + \Delta h_1 \quad (III-28)$$

$$h_{6sII} = h_{6s} + (3/2).\Delta h_1 \quad (III-29)$$

$$h_{6si} = h_{6s} + (i-1).\Delta h_1, \text{ (pour } i = 3, n-3) \quad (III-30)$$

$$h_{6sn-2} = h_{411s} \quad (III-31)$$

$$h_{6sn-1} = h_{411s} + \Delta h_2 \quad (III-32)$$

$$h_{6sn} = h_{41s} \quad (III-33)$$

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

avec :

$$\Delta h_1 = (h_{5II} - h_{6s}) / (n-3).$$

$$\Delta h_2 = (h_{5I} - h_{4IIs}) / 2.$$

Les points de soutirages sont fixés par :

h_{6si} : calculés dans l'étape précédente

$$S_{6si} = S_{5II}, \quad (\text{pour } i = 1, n-3) \quad (\text{III-34})$$

$$S_{6si} = S_{5I}, \quad (\text{pour } i = n-2, n-1) \quad (\text{III-35})$$

$$S_{6sn} = S_3 \quad (\text{III-36})$$

Ensuite, on calcule les enthalpies réelles aux points de soutirage. On aura pour les soutirage situés sur les lignes de détente $5_{II}6$ et $5_{I}4_{II}$:

$$h_{6i} = h_{5II} - \eta_{5II6i} \cdot (h_{5II} - h_{6si}) \quad (\text{pour } i = 1, n-3) \quad (\text{III-37})$$

$$h_{6i} = h_{5I} - \eta_{5I6i} \cdot (h_{5I} - h_{6si}) \quad (\text{pour } i = n-2, n-1) \quad (\text{III-38})$$

$$h_{6n} = h_3 - \eta_{34} (h_3 - h_{6si}) \quad (\text{III-39})$$

Avec :

η_{5II6i} : rendement isentropique de la turbine concernant la détente du point 5_{II} au point 6_i .

η_{5I6i} : rendement isentropique de la turbine concernant la détente du point 5_I au point 6_i .

η_{34} : rendement isentropique de la turbine concernant la détente du point 3 au point $6_i = 4_I$.

**CHAPITRE III " ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

• *Identification des points 7,1,2,(3),(4),(5),(4_{II}),(5_{II}),9_i :*

Les points 7,1,2,(3) et 9_i sont définis comme précédemment, et les points (4_I) et (5_I) ont la même définition que les points (4) et (5) de la partie précédente.

le point (4_{II}) (entrée du deuxième resurchauffeur) :

Paramètres qui fixent l'état (4_{II}) :

$$T_{(4II)} = T_{4II} + \Delta T_{4II}$$

$$P_{(4II)} = P_{4II} + \Delta P_{4II}$$

avec :

ΔT_{4II} : perte calorifique dans la conduite reliant le corps MP au deuxième resurchauffeur estimée à 1% de T_{4II} .

ΔP_{4II} : perte de pression dans la conduite reliant le corps M.P. au deuxième resurchauffeur estimée à 3% de P_{4II} .

Le point (5_{II}) (sortie du deuxième resurchauffeur) :

Paramètres qui fixent l'état (5_{II}) :

$$T_{(5II)} = T_{5II} + \Delta T_{5II}$$

$$P_{(5II)} = P_{5II} + \Delta P_{5II}$$

avec :

ΔT_{5II} : perte calorifique dans la conduite reliant le deuxième resurchauffeur au corps BP estimée à 1% de T_{5II} .

65

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

ΔP_{5II} : perte de pression dans la conduite reliant le deuxième resurchauffeur au corps BP estimée à 3% de la pression à la sortie du deuxième resurchauffeur,

soit:

$$\Delta P_{5II} = \frac{3 \cdot (P_{4II} - \Delta P_{4II} - \Delta P_{4II5II})}{100} \quad (III-40)$$

ΔP_{4II5II} : perte de pression dans le deuxième resurchauffeur estimée à 3% de P_{4II} .

Les *débits de vapeur* des différents soutirages par Kg de vapeur arrivant au condenseur sont calculés comme précédemment avec les relations (III-1) et (III-2).

Le *travail net* par Kg de vapeur subissant la détente complète s'obtient, en négligeant les travaux des différentes pompes, comme suit :

$$\begin{aligned} W = & (h_3 - h_{4I} + h_{5I} - h_{4II} + h_{5II} - h_6) + \sum_{i=1}^{n-3} Y_i \cdot (h_3 - h_{4I} + h_{5I} - h_{4II} + h_{5II} - h_{6i}) \\ & + Y_{n-2} \cdot (h_3 - h_{4I} + h_{5I} - h_{6n-2}) + Y_{n-1} \cdot (h_3 - h_{4II} + h_{5I} - h_{6n-1}) \\ & + Y_n \cdot (h_3 - h_{6n}) \end{aligned} \quad (III-41)$$

La *quantité de chaleur* reçue par le fluide moteur dans la chaudière par Kg de vapeur subissant la détente complète est à son tour donnée par :

$$Q = (1 + \sum_{i=1}^n Y_i) \cdot (h_{(3)} - h_2) + (1 + \sum_{i=1}^{n-1} Y_i) \cdot (h_{(5I)} - h_{(4I)}) + (1 + \sum_{i=1}^{n-3} Y_i) \cdot (h_{(5II)} - h_{(4II)}) \quad (III-42)$$

**CHAPITRE III ANALYSE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE TURBINE
COMPLÈTE ET ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE
CALCUL SERVANT A DÉTERMINER LES LIMITES
POTENTIELLES DES CENTRALES THERMIQUES A VAPEUR**

Le rendement global de l'installation, correspondant à la puissance délivrée sur l'arbre de l'alternateur sera enfin obtenu à l'aide de la relation suivante :

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_G \cdot \eta_a \cdot \eta \cdot \frac{W}{Q} \quad (\text{III-43})$$

où :

$\eta_g = 0.92$ est le rendement du générateur de vapeur,

$\eta_a = 0.933$ est le rendement tenant compte du travail des accessoires négligé dans le calcul du travail net.

$\eta = 0.991$ est le rendement mécanique tenant compte des pertes par frottement mécanique sur les paliers.

Enfin, la consommation spécifique nette, le débit de vapeur à la sortie de la turbine ainsi que celui passant du générateur de vapeur au corps HP et la consommation de combustible seront calculés comme précédemment.

CHAPITRE IV

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Le programme de calcul élaboré dans le chapitre précédent constitue en lui-même l'un des objectifs que nous nous sommes fixés au départ de la présente étude. Ce programme permet en effet, à partir de spécifications de base (caractéristiques de vapeur vive, puissance, etc.) de calculer toutes les autres caractéristiques thermodynamiques du cycle à vapeur fondé sur les critères d'optimisation définis et justifiés dans les chapitres I, II et III.

Ainsi par exemple, pour une installation développant à l'accouplement une puissance de 150 MW, ayant pour caractéristiques de vapeur vive 16 MPa, 540 °C, 540 °C et utilisant 5 soutirages de vapeur, avec une pression au condenseur de 7 kPa, le programme permet d'obtenir les résultats portés sur les tableaux IV-1 et IV-2 ci-après :

Caractéristiques principales	Symboles	Unités	Valeurs
Pression de la vapeur au générateur	$P_{(3)}$	MPa	16.84800
Température de la vapeur au générateur	$T_{(3)}$	°C	545.00
Pression à l'entrée de la turbine (HP)	P_3	MPa	16.00000
Température à l'entrée de la turbine (HP)	T_3	°C	540.00
Pression à la sortie du corps (HP)	P_4	MPa	3.42400
Température à la sortie du corps (HP)	T_4	°C	322.39
Pression à l'entrée du réchauffeur	$P_{(4)}$	MPa	3.36580
Température à l'entrée du réchauffeur	$T_{(4)}$	°C	319.39
Pression à la sortie du réchauffeur	$P_{(5)}$	MPa	3.17740
Température à la sortie du réchauffeur	$T_{(5)}$	°C	545.00
Pression à l'entrée du corps (MP)	P_5	MPa	3.08210
Température à l'entrée du corps (MP)	T_5	°C	540.00
Pression au condenseur	P_{II}	MPa	0.00700
Titre final	X_6	---	0.93100
Volume spécifique à l'entrée du corps (HP)	v_3	m ³ /kg	0.02094
Volume spécifique à la sortie du corps (HP)	v_4	m ³ /kg	0.07402
Volume spécifique à l'entrée du condenseur	v_6	m ³ /kg	19.10430
Nombre de soutirages	n	---	5
Température de l'eau d'alimentation	T_2	°C	244.08
Masse de vapeur entrant dans la turbine par kg de vapeur passant au condenseur	$1 + \sum_{i=1}^n Y_i$	kg/kg	1.46159

Travail moteur	W	KJ/kg	1864.97
Chaleur reçue dans la chaudière	Q_1	KJ/kg	3443.75
Chaleur reçue dans le resurchauffeur	Q_2	KJ/kg	682.39
Chaleur totale reçue par le fluide	Q	KJ/kg	4126.14
Rendement total	η_{tot}	---	0.38448
Consommation spécifique nette	C_n	KJ/KWh	9363.35
Puissance à l'accouplement	W	MW	150
Débit de vapeur à l'entrée du corps (HP)	m_3	kg/s	118.62407
		T/h	427.04665
		m^3/s	2.48399
Débit de vapeur à la sortie du corps (HP)	m_4	kg/s	105.62699
		T/h	380.25717
		m^3/s	7.81872
Débit de vapeur à la sortie du condenseur	m_6	kg/s	81.16071
		T/h	292.17854
		m^3/s	1550.5181
Consommation de combustible : Gaz naturel ($C_p=46600$ KJ/kg)	m_c	kg/s	7.81116

**Tableau IV-1 : Exemple de résultats obtenus suite à une
exécution du programme.**

	Sout-1	Sout-2	Sout-3	Sout-4	Sout-5
Pression de soutirage $P_{6s(i)}$ (MPa)	0.06500	0.16340	0.35320	1.18750	3.42400
Température de soutirage T_{6i} (°C)	100.10	172.49	248.55	396.92	322.39
Température de saturation correspondant à $P_{6s(i)}$ T_{9i} (°C)	88.01	113.96	139.20	187.51	241.34

**Tableau IV-2 : Caractéristiques concernant chaque soutirage
du cycle**

IV-1 INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DE LA VAPEUR VIVE ET DES TEMPERATURES DE RESURCHAUFFE:

Les tableaux IV-3, IV-4, IV-5, présentent le rendement global (η_{tot}), la consommation spécifique nette (C_n en KJ/KWh) pour un certain nombre d'installations dont les caractéristiques sont comprises dans les intervalles suivants :

- Pression de vapeur vive : 3.5 MPa - 70 MPa.
- Température de vapeur vive : 350°C - 760°C.
- Températures des resurchauffes : 350°C - 603°C.

Sur les mêmes tableaux sont portés les gains en consommations spécifiques des différentes installations par rapport à une première installation choisie comme référence ainsi que les gains obtenus en faisant varier un seul paramètre (pression de vapeur vive, température de vapeur vive, ou encore température de resurchauffe). On y voit aussi l'influence sur la consommation spécifique du passage d'une seule resurchauffe à deux resurchauffes.

On remarque d'abord qu'en règle générale une élévation de n'importe lequel des paramètres considérés ainsi que le passage d'une seule resurchauffe à deux resurchauffes, conduit à un gain en consommation spécifique (donc à une amélioration du rendement). Cependant, il existe des nuances dans ces gains :

- *Passage d'une première resurchauffe à une deuxième resurchauffe:*

On remarque que pour des caractéristiques de la vapeur vive relativement basses, le gain dû à une deuxième resurchauffe est d'environ 45 KJ/KWh, ce gain n'est plus que de 30 KJ/KWh pour des caractéristiques de (28 MPa, 565°C, 565°, 563°C) et à partir de (31 MPa, 649°C) on peut dire que la deuxième

resurchauffe n'apporte plus aucun gain, elle peut même conduire à une très légère perte (-9 KJ/KWh pour 38 MPa, 649°C) mais la deuxième resurchauffe devient alors une nécessité absolue pour garantir un degré d'humidité acceptable de la vapeur à la sortie du Corps BP.

	P ₁ (MPa)	T ₃ (°C)	T ₅₁ (°C)	T ₅₁₁ (°C)	η _{tot}	C _n (KJ/KWh)	ΔC _{wt}	ΔC _{wt-1}	ΔC _a (1res)	ΔC _a (2res)
1	3.50	350.00	350.00	---	0.27973	12869.62	---		---	
2	5.00	450.00	450.00	---	0.31024	11604.01	1265.61		1265.61	
3	8.00	550.00	550.00	---	0.34372	10473.73	2395.89		1130.28	
4	12.00	540.00	540.00	---	0.37150	9690.36	3179.26	---	783.37	
5	12.00	540.00	540.00	405.00	0.37328	9644.23	3225.39	46.13		---
6	16.00	540.00	540.00	---	0.38448	9363.35	3506.27	---	327.01	
7	16.00	540.00	540.00	439.00	0.38639	9316.92	3552.70	46.43		327.31
8	24.00	538.00	552.00	---	0.41657	8642.03	4227.59	---	721.52	
9	24.00	538.00	552.00	542.00	0.41865	8599.02	4270.60	43.01		717.90
10	24.00	552.00	538.00	542.00	0.41898	8592.28	4277.34			6.74
11	24.00	552.00	542.00	538.00	0.41916	8588.69	4280.93			3.59
12	28.00	565.00	565.00	---	0.42646	8441.55	4428.07	---	200.48	
13	28.00	565.00	565.00	563.00	0.42794	8412.35	4457.27	29.20		176.34
14	28.00	593.00	565.00	---	0.42924	8386.99	4482.63	---	54.56	
15	28.00	593.00	565.00	563.00	0.43032	8365.80	4503.82	21.19		46.55
16	31.00	593.00	565.00	---	0.43396	8295.74	4573.88	---	91.25	
17	31.00	593.00	565.00	563.00	0.43444	8286.62	4583.00	9.12		79.18
18	31.00	649.00	565.00	---	0.43999	8182.02	4687.60	---	113.72	
19	31.00	649.00	565.00	563.00	0.43962	8188.90	4680.72	-6.88		97.72
20	34.00	649.00	565.00	563.00	0.44359	8115.67	4753.95			73.23
21	34.00	649.00	593.00	---	0.44531	8084.25	4785.37	---	97.77	
22	34.00	649.00	593.00	589.00	0.44548	8081.09	4788.53	3.16		34.58
23	38.00	649.00	593.00	---	0.45073	7987.07	4882.55	---	97.18	
24	38.00	649.00	593.00	589.00	0.45021	7996.20	4873.42	-9.13		84.89

Tableau IV-3 : Résultats mettant en évidence l'effet d'une variation des caractéristiques de vapeur vive et des températures de resurchauffe sur la consommation et le rendement du cycle à vapeur

• *Température de surchauffe et températures de resurchauffe :*

On voit d'après le tableau IV-3 qu'il est plus avantageux d'avoir une température de surchauffe plus élevée que les températures de resurchauffe et une température de première resurchauffe plus élevée à celle de la deuxième resurchauffe plutôt que le contraire (voir installations 9, 10 et 11).

Ensuite, on constate que l'influence de la température de surchauffe est largement plus importante que celle des températures de resurchauffe dans le domaine où une augmentation de ces températures apporte un gain. Ainsi le gain dû à une augmentation de la température de la vapeur vive varie d'environ 2 KJ/KWh°C pour les caractéristiques relativement basses jusqu'à environ 1,5 KJ/KWh°C pour les caractéristiques les plus élevées; alors que celui dû à une élévation de la température de première resurchauffe est d'environ 0,8 KJ/KWh°C et enfin celui dû à une élévation de la température de la deuxième resurchauffe n'est que de 0,08 KJ/KWh°C.

	$P_1(\text{MPa})$	$T_3(^{\circ}\text{C})$	$T_{SI} (^{\circ}\text{C})$	$T_{SII} (^{\circ}\text{C})$	η_{tot}	$C_n(\text{KJ/KWh})$	$\Delta C_{n/1}$	$\Delta C_{n/1-1}$
25	55.00	593	593	593	0.45515	7909.55	---	---
26	55.00	649	593	593	0.46225	7787.99	121.56	121.56
27	55.00	760	593	593	0.47221	7623.88	285.67	164.11

Tableau IV-4 : Résultats mettant en évidence l'influence des température de la vapeur

On remarque enfin (tableaux IV-4) toujours concernant la température de vapeur vive que les gains que son élévation au dessus de 760°C devraient produire (<1,5 KJ/KWh°C) ne justifient pas tous les efforts qui devraient être

consacrés à la recherche de matériaux qui résisteraient à ces températures, ce qui fixe la limite potentielle de ce paramètre.

	$P_1(\text{MPa})$	$T_3(^{\circ}\text{C})$	$T_{51} (^{\circ}\text{C})$	$T_{511} (^{\circ}\text{C})$	η_{tot}	$C_n(\text{KJ/KWh})$	$\Delta C_{n/1}$	$\Delta C_{n/i-1}$
28	41.00	760.00	760.00	593.00	0.46892	7677.16	---	---
29	48.00	760.00	760.00	593.00	0.47452	7586.62	90.54	90.54
30	55.00	760.00	760.00	593.00	0.47962	7506.01	171.15	80.61
31	62.00	760.00	760.00	593.00	0.48380	7441.16	236.00	64.85
32	70.00	760.00	760.00	593.00	0.48804	7376.47	300.69	64.69

Tableau IV-5 : Résultats mettant en relief l'influence d'une variation de pression

• *Pression de vapeur vive :*

L'influence de cette pression paraît être la plus importante, mais comme pour les autres paramètres, elle va en diminuant à mesure que la pression elle-même augmente. C'est ainsi qu'en allant de 12 MPa à 16 MPa on enregistre un gain de 81.75 KJ/KWh MPa (installation 4 et 6 du tableau IV-3) en passant de 31 MPa à 34 MPa le gain n'est que 24,41 KJ/KWhMPa (installation 19 et 20 du tableau IV-3), il n'est que d'environ 10KJ/KWhMPa à des pressions voisines de 50 MPa (tableau IV-5).

Là aussi, comme pour la température de vapeur vive, le faible gain produit par une pression supérieure à 55 MPa ne saurait justifier la recherche de technologies pouvant supporter des pressions aussi élevées. Ceci fixe la limite potentielle de la pression de vapeur vive.

IV-2. EFFET DES RESURCHAUFFES SUR LES DIFFERENCES DE TEMPERATURES DANS LES RECHAUFFEURS D'EAU :

Dans le tableau IV-6 , nous avons considéré trois installations à 9 soutirages de vapeur. Chacune de ces trois installations est une première fois calculée pour une seule resurchauffe, et une deuxième fois pour deux resurchauffes.

Nous avons, pour chaque soutirage, reporté respectivement, la valeur de la pression de soutirage, celle de la température de saturation correspondante, celle de la température de la vapeur soutirée et enfin la différence entre ces deux températures, différence qui, rappelons-le, joue un grand rôle dans les dégradations d'énergie lors des échanges thermiques entre la vapeur soutirée et l'eau d'alimentation dans les réchauffeurs. En effet, pour éviter qu'il y ait des pertes d'énergie importantes, lors de ces échanges, il est nécessaire de trouver des techniques qui contribueraient à atténuer ces différences, dont l'utilisation des désurchauffeurs.

Les résultats du tableau IV-6 montrent, sans aucune équivoque, que la différence de température, dont il est question, augmente, au sein d'un même corps de turbine avec la pression de soutirage, ceci étant valable aussi bien pour une seule resurchauffe que pour deux resurchauffes. On relève aussi l'importance de cette différence de température, pour un soutirage donné, dans le cas d'une double resurchauffe, par rapport au cas à simple resurchauffe. Ceci confirme ce qu'on avait annoncé au chapitre II à ce propos, à savoir que la deuxième resurchauffe est particulièrement désavantageuse de ce point de vue.

Caractéristiques de vapeur vive		P ₁ =24MPa T ₃ =552°C		P ₁ =38MPa T ₃ =649°C		P ₁ =55MPa T ₃ =760°C	
Température(s) de resurchauffe(s)		1 res : T ₅ =542°C	2 res : T _{5H} =538°C	1 res : T ₅ =593°C	2 res : T _{5H} =589°C	1 res : T ₅ =760°C	2 res : T _{5H} =593°C
Pressions de soutirages P _{6s(i)} (MPa)	1	0.01580	0.01650	0.01820	0.01900	0.02090	0.01900
	2	0.02990	0.03050	0.03700	0.03820	0.04550	0.03820
	3	0.05340	0.05210	0.06750	0.06860	0.08800	0.06840
	4	0.15830	0.12970	0.21140	0.18120	0.26690	0.18150
	5	0.39680	0.27450	0.56020	0.40100	0.64210	0.40030
	6	0.84420	0.51990	1.23290	0.78810	1.33560	0.78510
	7	1.59860	0.99640	2.39820	1.55200	2.51380	1.55200
	8	2.80530	2.29650	4.30530	3.55940	4.36950	3.56420
	9	5.13600	5.13600	8.00000	8.00000	8.00000	8.00000

Températures de saturation aux pressions de soutirages T _{9i} (°C)	1	55.06	55.96	58.04	58.96	61.02	58.96
	2	69.03	69.48	74.00	74.77	79.00	74.77
	3	82.98	82.36	88.99	89.42	96.09	89.34
	4	113.00	107.06	121.99	117.14	129.60	117.19
	5	143.34	130.54	156.19	143.72	161.52	143.66
	6	172.68	153.33	189.21	169.81	192.88	169.66
	7	201.36	179.75	221.79	199.94	224.28	199.94
	8	230.20	219.52	254.80	243.57	255.70	243.65
	9	265.67	265.67	295.06	295.06	295.06	295.06

Températures de soutirages T _{6i} (°C)	1	55.06	90.71	58.04	95.67	63.02	98.03
	2	69.03	133.38	74.00	143.05	109.64	145.58
	3	82.98	180.63	88.99	195.42	163.61	198.14
	4	133.90	273.48	148.97	298.07	269.69	301.16
	5	218.09	363.99	240.68	397.87	373.08	401.28
	6	301.12	452.15	331.08	494.81	473.68	498.52
	7	382.81	321.61	419.97	360.26	571.57	495.97
	8	463.14	433.22	507.35	478.06	666.88	630.28
	9	325.52	325.52	396.33	396.33	432.69	432.69

ΔT(i) = T _{6i} - T _{9i} (°C)	1	0.00	34.75	0.00	36.71	2.00	39.07
	2	0.00	63.90	0.00	68.28	30.64	70.81
	3	0.00	98.27	0.00	106.00	67.52	108.80
	4	20.90	166.42	26.98	180.93	140.09	183.97
	5	74.75	233.45	84.49	254.15	211.56	257.62
	6	128.44	298.82	141.87	325.00	280.80	328.86
	7	181.45	141.86	198.18	160.32	347.29	296.03
	8	232.94	213.70	252.55	234.49	411.18	386.63
	9	59.85	59.85	101.27	101.27	137.63	137.63

Tableau IV-6 : Effet de la première resurchauffe et de deuxième resurchauffe sur les différences de température à travers lesquelles se font les échanges de chaleur entre la vapeur de soutirage et l'eau d'alimentation dans les réchauffeurs

IV-3. COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES DE QUATRE INSTALLATIONS DE PUISSANCES DIFFERENTES :

Comme il fallait s'y attendre, on voit, d'après le tableau IV-7 ci-dessous que la consommation spécifique nette, en KJ/KWh, décroît de la première installation à la quatrième installation, ce qui correspond évidemment à une croissance du rendement global de la première à la quatrième installation.

Ici, on peut, une fois de plus, reconsidérer l'importance relative des différents facteurs qui contribuent à l'amélioration du rendement :

- Pour des puissances plus élevées, on a adopté des températures de surchauffe et de resurchauffe et des pressions plus élevées, choix dont l'utilité va être mise en évidence ci-dessous. Cependant, l'adoption de pressions aussi élevées n'aurait pas été possible sans la pratique de la double resurchauffe qui, en conduisant à des titres voisins de 0,98 pour les quatre installations permis d'éliminer pratiquement la fraction de détente qui s'opère d'ordinaire dans le domaine des vapeurs humides, et par conséquent d'améliorer le rendement isentropique interne de la détente dans le corps BP.
- On peut vérifier sur le tableau, l'incidence du choix de cycles avec des caractéristiques de plus en plus poussées (pression de vapeur vive et températures de surchauffe et de resurchauffe) sur les débits de vapeur aux différents points et donc sur l'encombrement des installations.

	Installation 1	Installation 2	Installation 3	Installation 4
$P_{(3)}$ (MPa)	25.56000	33.34050	44.71050	61.13250
$T_{(3)}$ (°C)	543.00	599.00	768.00	768.00
P_3 (MPa)	24	31	41	55
T_3 (°C)	538.00	593.00	760.00	760.00
P_{4I} (MPa)	5.13600	6.63400	8.00000	8.00000
T_{4I} (°C)	314.12	354.89	481.03	432.69
$P_{(4I)}$ (MPa)	5.04870	6.52120	7.86400	7.86400
$T_{(4I)}$ (°C)	311.12	350.89	476.03	428.69
$P_{(5I)}$ (MPa)	4.76620	6.15640	7.42400	7.42400
$T_{(5I)}$ (°C)	558.00	571.00	768.00	768.00
P_{5I} (MPa)	4.62320	5.97170	7.20130	7.20130
T_{5I} (°C)	552.00	565.00	760.00	760.00
P_{4II} (MPa)	0.99640	1.28700	1.55200	1.55200
T_{4II} (°C)	329.56	338.79	495.97	495.97
$P_{(4II)}$ (MPa)	0.96650	1.24840	1.50540	1.50540
$T_{(4II)}$ (°C)	326.56	335.79	490.97	490.97
$P_{(5II)}$ (MPa)	0.93660	1.20980	1.45890	1.45890
$T_{(5II)}$ (°C)	547.00	571.00	599.00	599.00
P_{5II} (MPa)	0.90850	1.17350	1.41510	1.41510
T_{5II} (°C)	542.00	565.00	593.00	593.00
P_{II} (MPa)	0.00400	0.00400	0.00400	0.00400
v_3 (KJ/kg)	0.01299	0.01085	0.01062	0.00771
v_{4I} (KJ/kg)	0.04584	0.03806	0.04041	0.03687
v_{4II} (KJ/kg)	0.27352	0.21401	0.22594	0.22594
v_6 (m ³ /kg)	34.10618	33.94498	33.97150	33.97150
X_6	0.98000	0.97500	0.97600	0.97600
h_3-h_{4I} (KJ/kg)	345.22	370.83	506.61	558.55
h_{5I},h_{4II} (KJ/kg)	444.15	448.59	567.34	567.34
$h_{5II}-h_6$ (KJ/kg)	1064.93	1124.35	1182.61	1182.61
Δh_{tot} (KJ/kg)	1854.30	1943.77	2256.56	2308.50
n	9	9	9	9
T_2 (°C)	270.80	289.96	306.67	311.12
$1 + \sum_{i=1}^n Y_i$	1.55577	1.61595	1.60909	1.62088
W(KJ/kg)	2328.88	2490.24	2947.23	3037.40
Q_1 (KJ/kg)	3299.47	3444.13	4032.38	3899.56
Q_2 (KJ/kg)	850.55	793.68	1011.94	1185.48
Q_3 (KJ/kg)	581.88	637.74	302.02	302.02
Q(KJ/kg)	4731.91	4875.54	5346.33	5387.06
η_t	0.49216	0.51076	0.55126	0.56383
η_{tot}	0.41865	0.43447	0.46892	0.47962
W(KW)	200 000	400 000	600 000	800 000
W_a (KW)	13 400	26 800	40 200	53 600
C_n (KJ/KWh)	8599.02	8285.92	7677.16	7506.01
m_3 (kg/s)	134.82013	261.92285	330.55500	430.79102

m_3 (T/h)	485.35248	942.92227	1189.99800	1550.84767
m_3 (m ³ /s)	1.75131	2.84186	3.51049	3.32140
m_{4I} (kg/s)	120.10122	230.97313	293.21255	379.34477
m_{4I} (T/h)	432.36439	831.50326	1055.56519	1365.64117
m_{4I} (m ³ /s)	5.50532	8.79130	11.84901	13.98720
m_{4II} (kg/s)	106.63869	202.74411	259.74057	336.04027
m_{4II} (T/h)	383.89927	729.87881	935.06604	1209.74497
m_{4II} (m ³ /s)	29.16760	43.38846	58.68708	75.92662
m_6 (kg/s)	86.65813	162.08573	205.42965	265.77534
m_6 (T/h)	311.96925	583.50862	739.54676	956.79122
m_6 (m ³ /s)	2955.57765	5501.99644	6978.75373	9028.78715
m_C (kg/s)	9.56471	18.43292	25.61799	33.39586
m_{sp} (kg/KWh)	0.17216	0.16590	0.15371	0.15028

Tableau IV-7 : Comparaison des caractéristiques de quatre installations de puissances différentes

- Considérons d'abord, le débit de vapeur à l'échappement du corps BP de la turbine, débit qui conditionne les dimensions du condenseur et l'encombrement du corps BP. Nous constatons qu'à des puissances suivant la progression 1- 2 -3- - 4, correspondent des débits croissant suivant la progression 1- 1.87- 2.37- 3.07. Cette atténuation de la progression des débits comparée à celle des puissances, résulte d'abord de l'accroissement de la chute totale d'enthalpie qui passe de 1 854.3 KJ/kg à 1 943.77 KJ/kg dans la deuxième installation puis à 2 256.56 KJ/kg dans la troisième et enfin à 2 308.5 KJ/kg dans la quatrième installation ; ces valeurs montrent l'intérêt du relèvement des caractéristiques de la vapeur vive à l'admission .

- A l'admission de la turbine (corps HP), c'est le débit volumique qui est le plus important. A cet égard le tableau montre combien il est indispensable de compenser, par un relèvement considérable de la puissance installée, la très forte diminution du volume spécifique.

-A la sortie du corps HP, on cherche à réduire, par un soutirage, la quantité de vapeur renvoyée au resurchauffeur, de même qu'à la sortie du corps MP on cherche à réduire la quantité de vapeur renvoyée au deuxième resurchauffeur.

En faisant les rapports des débits massiques à l'entrée de la turbine (HP) et du premier resurchauffeur, d'une part, et ceux à l'entrée du corps MP et du deuxième resurchauffeur d'autre part, on vérifie l'efficacité de la disposition des soutirages aux sorties des corps HP et MP. Dans notre cas, ces rapports sont tous voisins de 1.13, ce qui correspond à des débits de soutirage aux sorties des corps HP et MP de l'ordre de 12 % des débits d'admission à ces corps de la turbine. Ce sont les plus grands des 9 débits soutirés que compte l'installation. Cependant, malgré cette circonstance favorable, et malgré la présence de trois soutirages en amont du deuxième resurchauffeur, le débit volumique reste considérable dans les trois installations et constitue une difficulté majeure pour la réalisation pratique du cycle.

CONCLUSION

L'étude du cycle de la turbine à vapeur montre combien nombreux sont les paramètres qui affectent les performances des centrales thermiques à vapeur.

Tout au long de la présente étude, il nous a été donné de constater la complexité des interactions qui existent entre ces différents paramètres, et il ressort, de tout ce qu'on a pu voir, qu'il n'est pas aisé de réaliser le parfait ajustement qui permettrait de sélectionner le jeu des paramètres qui mettrait l'installation dans ses meilleures dispositions pour donner le meilleur résultat lorsqu'elle est en opération. Certains de ces paramètres seront fixés à partir de considérations thermodynamiques, d'autres le seront plutôt à partir de considérations économiques et d'autres encore à partir de considérations techniques.

Comme il est très difficile d'appréhender tous ces aspects, dans le cadre d'une évaluation sommaire, des choix sont parfois effectués sur la base de considérations pas très précises.

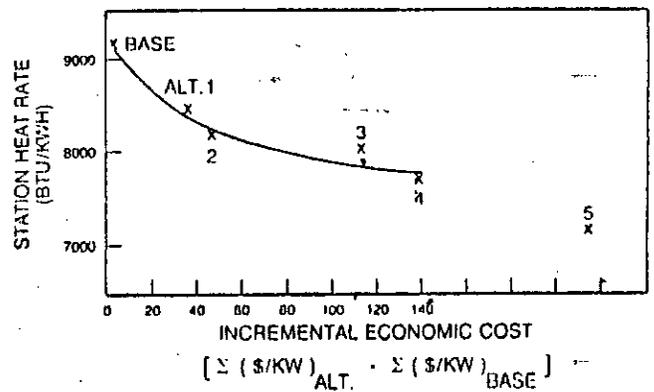
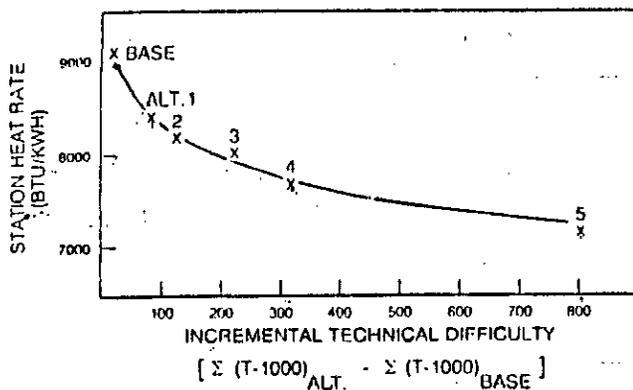
Nous avons vu que pression de vapeur vive, température de vapeur vive et puissance de l'installation sont particulièrement liées, et que ces trois caractéristiques doivent être judicieusement combinées pour arriver à exploiter pleinement les potentialités du cycle à vapeur. La resurchauffe (la deuxième resurchauffe notamment pour les pressions de vapeur hypercritiques) est nécessaire si l'on veut éviter que la vapeur ne soit trop humide à la sortie du corps BP et ce, même lorsqu'elle n'entraîne aucune amélioration de rendement.

Nous avons aussi vérifié le fait que des accroissements successifs des différents paramètres considérés, entraînent des améliorations de moins en moins intéressantes. C'est ainsi qu'en poussant les caractéristiques de la vapeur au delà de leurs limites actuelles, nous avons obtenu des rendements globaux

Supérieurs à 47 % avec une pression de 55 MPa et des températures de 760°C/593°C/593°C. Au delà de ces valeurs, l'amélioration thermodynamique potentielle, ne paraît pas suffisante pour justifier les contreparties économiques et techniques qui devraient lui être associées. A ce propos, nous présentons ci-dessous deux courbes reprises dans la référence [2], représentant le gain en consommation spécifique nette en fonction des difficultés techniques associées figure 15, et en fonction des coûts associés figure 16., concernant six installations caractérisées par les données rassemblées dans le tableau V-1 ci-après.

	BASE	1	2	3	4	5
Pression de vapeur vive (MPa)	24	28	31	34	38	48
Température de vapeur vive (°C)	538	565	593	649	649	760
Température de première resurchauffe (°C)	552	565	565	565	593	760
Température de deuxième resurchauffe (°C)	565	565	565	565	593	593

Tableau V-1 :



BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES OUVRAGES :

[1] **A. HOUBERECHTS. (2)**

Thermodynamique technique
Librairie Universitaire - LOUVAIN, 1968

[2] **G.J SILVESTRI, R.L BANNISTER, T. FUJIKAWA, A. HIZUME**

Optimisation of Advanced Steam Condition Power Plants
Journal of Engineering for Gas Turbines and Power Vol 114, Octobre 1992
Transactions of the ASME:

[3] **E. BUCHET**

Les cycles thermodynamiques des machines motrices thermiques
Rev. Gén. Therm., Fr. N° 220 Avril 1980

[4] **C.W. SOMERTON, T. BROUILLETTE, C. POURCIAU,
D. STRAWN, L. WHITEHOUSE**

Rankine: a Computer Software Package for the Analysis and Design of Steam
Power Generating Units
Journal of Engineering for Gas Turbines and Power Vol 109, Avril 1987
Transactions of the ASME

[5] **VAN WYLEN. G.J.**

Thermodynamique appliquée
Éditions du nouveau pédagogique, Inc Québec 1982

ANNEXES

PROGRAMME BIS1

```
program essai;
```

```
var
```

```
Nu34 : array[0..12]of real;
```

```
Nu56 : array[0..12]of real;
```

```
Nu78 : array[0..12]of real;
```

```
g,f,gg : text;
```

```
i,nb3,nb5,nb7,n,T3inf,T3sup,T5inf,T5sup,T7inf,T7sup,T3,T5,T7,DT3,DT4,DT5,DT6,DT7 : integer;
```

```
PI,PII,Pint1,Pint2,DP3,DP4,DP45,DP5,DP6,DP67,DP7,a,DTsr,DPn1,DP23,Puiss,Cp : real;
```

```
begin
```

```
  assign(f,"");
```

```
  reset(f);
```

```
  readln(f,PI);
```

```
  readln(f,PII);
```

```
  readln(f,n);
```

```
  readln(f,T3inf);
```

```
  readln(f,T3sup);
```

```
  readln(f,T5inf);
```

```
  readln(f,T5sup);
```

```
  readln(f,T7inf);
```

```
  readln(f,T7sup);
```

```
  readln(f,DP3);
```

```
  readln(f,DT3);
```

```
  readln(f,DP4);
```

```
  readln(f,DT4);
```

```
  readln(f,DP45);
```

```
  readln(f,DP5);
```

```
  readln(f,DT5);
```

```
  readln(f,DP6);
```

```
  readln(f,DT6);
```

```
  readln(f,DP67);
```

```
  readln(f,DP7);
```

```
  readln(f,DT7);
```

```
  readln(f,DTsr);
```

```
  readln(f,DPn1);
```

```
  readln(f,DP23);
```

```
  for i:=0 to n do readln(f,Nu34[i]);
```

```
  for i:=0 to n do readln(f,Nu56[i]);
```

```
  for i:=0 to n do readln(f,Nu78[i]);
```

```
  readln(f,a);
```

```
  readln(f,Puiss);
```

```
  readln(f,Cp);
```

```
  if 0.214*PI<8 then Pint1:=0.214*PI
```

```
    else Pint1:=8;
```

```
  Pint2:=0.194*Pint1;
```

```
  nb3:=T3sup-T3inf+1;
```

```
  nb5:=T5sup-T5inf+1;
```

```
  nb7:=T7sup-T7inf+1;
```

```
  assign(g,"");
```

```
  rewrite(g);
```

```
  assign(gg,'wall.dat');
```

```
  rewrite(gg);
```

```

writeln(g);
writeln(g,'1');
writeln(g,'c');
writeln(g,'1');
T3:=T3sup;
T5:=T5sup;
T7:=T7sup;
for i:=1 to nb3+nb5+nb7 do
begin
if i<nb3+1 then
begin
writeln(g,T3);
writeln(g,PI);
writeln(g,'s');
T3:=T3-1;
end
else
if i<nb3+nb5+1 then
begin
DP4:=1.7*Pint1/100;
DP45:=5.5*Pint1/100;
DP5:=3*(Pint1-DP4-DP45)/100;
writeln(g,T5);
writeln(g,Pint1-DP4-DP45-DP5);
writeln(g,'s');
T5:=T5-1;
end
else
begin
DP6:=3*Pint2/100;
DP67:=3*Pint2/100;
DP7:=3*(Pint2-DP6-DP67)/100;
writeln(g,T7);
writeln(g,Pint2-DP6-DP67-DP7);
T7:=T7-1;
if i<nb3+nb5+nb7 then writeln(g,'s')
else writeln(g,'x');
end
end;
writeln(g);
writeln(g,'0');
writeln(gg,PI,chr(9),PI1,chr(9),Pint1,chr(9),Pint2,chr(9),n,chr(9),nb3,chr(9),nb5,chr(9),nb7,chr(9),DP3,chr(9),D
T3);
writeln(gg,DP4,chr(9),DT4,chr(9),DP45,chr(9),DP5,chr(9),DT5,chr(9),DP6,chr(9),DT6,chr(9),DP67,chr(9),DP7
,chr(9),DT7);
for i:=0 to n do writeln(gg,Nu34[i]);
for i:=0 to n do writeln(gg,Nu56[i]);
for i:=0 to n do writeln(gg,Nu78[i]);
writeln(gg,DTsr);
writeln(gg,DPn1,chr(9),DP23,Puiss,chr(9),Cp);
close(gg);
close(g);

end.

```

PROGRAMME BIS2

```
program essai;
```

```
var
```

```
g,f,gg,ff,fff : text;  
val : array[1..6]of real;  
Nu34: array[0..12]of real;  
Nu56: array[0..12]of real;  
Nu78: array[0..12]of real;  
i,j,k,n,T3inf,T3sup,T5inf,T5sup,T7inf,T7sup,nb3,nb5,nb7,DT3,DT4,DT5,DT6,DT7 : integer;  
PI,P11,Pint1,Pint2,T,P,v,H,S,DP3,DP4,DP45,DP5,DP6,DP67,DP7,DTsr,DPn1,DP23,Puiss,Cp : real;
```

```
begin
```

```
assign(f,'wal2a.dat');  
rewrite(f);  
assign(fff,'wal2b.dat');  
rewrite(fff);  
assign(ff,'');  
rewrite(ff);  
assign(g,'');  
reset(g);  
assign(gg,'wall.dat');  
reset(gg);
```

```
readln(gg,PI,P11,Pint1,Pint2,n,nb3,nb5,nb7,DP3,DT3,DP4,DT4,DP45,DP5,DT5,DP6,DT6,DP67,DP7,DT7);  
for i:=0 to n do readln(gg,Nu34[i]);  
for i:=0 to n do readln(gg,Nu56[i]);  
for i:=0 to n do readln(gg,Nu78[i]);  
readln(gg,DTsr);  
readln(gg,DPn1,DP23,Puiss,Cp);  
writeln(ff);  
writeln(ff,'1');  
writeln(ff,'c');  
writeln(ff,'8');  
writeln(ff,P11);  
writeln(ff,'0');  
writeln(ff,'s');  
writeln(ff,P11);  
writeln(ff,'1');  
writeln(ff,'d');  
writeln(ff,'7');  
k := 102;  
for j := 1 to nb3+nb5+nb7 do  
begin  
for i:=1 to k do readln(g);  
for i:=1 to 6 do read(g,val[i]);  
readln(g);  
T:=val[1];  
P:=val[2];  
v:=val[3];  
H:=val[5];  
S:=val[6];  
writeln(f,T:10:5,chr(9),P:10:5,chr(9),v:10:5,chr(9),H:10:5,chr(9),S:10:5);  
k := 24;
```

```

writeln(ff,PII);
writeln(ff,S);
if j<nb3+nb5+nb7 then writeln(ff,'s')
    else writeln(ff,'x');
end;
writeln(ff);
writeln(ff,'0');
writeln(ff,PI:10:5,chr(9),PII:10:5,chr(9),Pint1:10:5,chr(9),Pint2:10:5);
writeln(ff,n,chr(9),nb3,chr(9),nb5,chr(9),nb7,chr(9),DP3,chr(9),DT3);
writeln(ff,DP4,chr(9),DT4,chr(9),DP45,chr(9),DP5,chr(9),DT5,chr(9),DP6);
writeln(ff,DT6,chr(9),DP67,chr(9),DP7,chr(9),DT7);
for i:=0 to n do writeln(ff,Nu34[i]);
for i:=0 to n do writeln(ff,Nu56[i]);
for i:=0 to n do writeln(ff,Nu78[i]);
writeln(ff,DTsr);
writeln(ff,DPn1,chr(9),DP23,chr(9),Puiss,chr(9),Cp);
close(gg);
close(g);
close(ff);
close(fff);
close(f)
end.

```

PROGRAMME BIS3

```
program essai;
```

```
var
```

```
g,f,gg,ff,fff : text;  
val1 : array[1..5]of real;  
val : array[1..7,1..5]of real;  
Nu34 : array[0..12]of real;  
Nu56 : array[0..12]of real;  
Nu78 : array[0..12]of real;  
i,j,k,n,T3inf,T3sup,T5inf,T5sup,T7inf,T7sup,nb3,nb5,nb7,n3,n5,n7,DT3,DT4,DT5,DT6,DT7 : integer;
```

```
PI,PII,Pint1,Pint2,T3sexp,T5sexp,T7sexp,H3sexp,H5sexp,H7sexp,X3s,X5s,X7s,P3,P5,P7,v3,v5,v7,X5r,X5rt:rea  
l;
```

```
H3,H5,H7,S3,S5,S7,T3,T5,T7,H3s,H5s,H7s,X3sexp,X5sexp,X7sexp,X3st,X7st,X5st,DTsr,Hf,Hg,X3r,X3rexp,X  
3rt : real;
```

```
DP3,DP4,DP45,DP5,DP6,DP67,DP7,T3s,T5s,T7s,S3s,S3sexp,S5s,S5sexp,S7s,S7sexp,DPn1,DP23,X7r,X7rt,Pui  
ss,Cp : real;
```

```
T3exp,T5exp,T7exp,P3exp,P5exp,P7exp,v3exp,v5exp,v7exp,H3exp,H5exp,H7exp,S3exp,S5exp,S7exp,X5exp,  
X7rexp : real;
```

```
T3expl,T5expl,T7expl,P3expl,P5expl,P7expl,H3expl,H5expl,H7expl,v3expl,v5expl,v7expl,S3expl,S5exp  
l,S7expl : real;
```

```
T3sexpl,T5sexpl,T7sexpl,H3sexpl,H5sexpl,H7sexpl,S3sexpl,S5sexpl,S7sexpl,X3sexpl,X5sexpl,X7sexpl  
: real;
```

```
begin
```

```
assign(f,'wal2a.dat');  
reset(f);  
assign(fff,'wal2b.dat');  
reset(fff);  
assign(ff,"");  
reset(ff);  
assign(g,"");  
rewrite(g);  
assign(gg,'wal3.dat');  
rewrite(gg);
```

```
readln(fff,PI,PII,Pint1,Pint2,n,nb3,nb5,nb7,DP3,DT3,DP4,DT4,DP45,DP5,DT5,DP6,DT6,DP67,DP7,DT7);  
for i:=0 to n do readln(fff,Nu34[i]);  
for i:=0 to n do readln(fff,Nu56[i]);  
for i:=0 to n do readln(fff,Nu78[i]);  
readln(fff,DTsr);  
readln(fff,DPn1,DP23,Puiss,Cp);  
for i:=1 to 102 do readln(ff);  
for i:=1 to 7 do read(ff,val[i,4]);  
Hf:=val[5,4];  
for i:=1 to 25 do readln(ff);  
for i:=1 to 7 do read(ff,val[i,5]);  
Hg:=val[5,5];  
k := 38;  
X3s:=0;  
X3st:=0;
```

```

X3r:=0;
X3rt:=0;
n3:=0;
X5s:=0;
X5st:=0;
X5r:=0;
X5rt:=0;
n5:=nb3;
X7s:=0;
X7st:=0;
X7r:=0;
X7rt:=0;
n7:=nb3+nb5;
for j := 1 to nb3+nb5+nb7 do
begin
if j<nb3+1 then
begin
readln(f,T3exp,P3exp,v3exp,H3exp,S3exp);
for i:=1 to k do readln(ff);
i:=1;
while not eoln(ff) do
begin
read(ff,val[i,1]);
i:=i+1;
end;
if j=1 then
begin
T3sexp1:=T3exp;
P3sexp1:=P3exp;
v3sexp1:=v3exp;
H3sexp1:=H3exp;
S3sexp1:=S3exp;
T3sexp1:=val[1,1];
H3sexp1:=val[5,1];
S3sexp1:=val[6,1];
X3sexp1:=val[7,1];
end;
T3sexp:=val[1,1];
H3sexp:=val[5,1];
S3sexp:=val[6,1];
X3sexp:=val[7,1];
X3rexp:=Nu34[0]*X3sexp+(1-Nu34[0])*(H3exp-Hf)/(Hg-Hf);
readln(ff);
if X3rexp<0.9 then
begin
if X3sexp>X3s then
begin
T3s:=T3sexp;
H3s:=H3sexp;
S3s:=S3sexp;
X3s:=X3sexp;
X3st:=X3sexp;
X3r:=X3rexp;
X3rt:=X3rexp;
T3:=T3exp;
P3:=P3exp;
v3:=v3exp;
H3:=H3exp;
S3:=S3exp;

```

```

        n3:=n3+1;
        end;
        if X3sexp=0 then n3:=n3+1;

        end
        else n3:=n3+1;

        end
        else
        if j<nb3+nb5+1 then
        begin
        readln(f,T5exp,P5exp,v5exp,H5exp,S5exp);
        for i:=1 to 24 do readln(ff);
        i:=1;
        while not eoln(ff) do
        begin
        read(ff,val[i,2]);
        i:=i+1;
        end;
        readln(ff);
        if j=nb3+1 then
        begin
        T5exp1:=T5exp;
        P5exp1:=P5exp;
        v5exp1:=v5exp;
        H5exp1:=H5exp;
        S5exp1:=S5exp;
        T5sexp1:=val[1,2];
        H5sexp1:=val[5,2];
        S5sexp1:=val[6,2];
        X5sexp1:=val[7,2];
        end;
        T5sexp:=val[1,2];
        H5sexp:=val[5,2];
        S5sexp:=val[6,2];
        X5sexp:=val[7,2];
        X5rexp:=Nu56[0]*X5sexp+(1-Nu56[0])*(H5exp-Hf)/(Hg-Hf);
        if X5rexp<0.88 then
        begin
        if X5sexp>X5s then
        begin
        T5s:=T5sexp;
        H5s:=H5sexp;
        S5s:=S5sexp;
        X5s:=X5sexp;
        X5st:=X5sexp;
        X5r:=X5rexp;
        X5rt:=X5rexp;
        T5:=T5exp;
        P5:=P5exp;
        v5:=v5exp;
        H5:=H5exp;
        S5:=S5exp;
        n5:=n5+1;
        end;
        if X5sexp=0 then n5:=n5+1;
        end
        else n5:=n5+1;

        end
        end

```

```

else
begin
  readln(f,T7exp,P7exp,v7exp,H7exp,S7exp);
  for i:=1 to 24 do readln(ff);
  i:=1;
  while not eoln(ff) do
    begin
      read(ff,val[i,3]);
      i:=i+1;
    end;
  readln(ff);
  if j=nb3+nb5+1 then
    begin
      T7exp1:=T7exp;
      P7exp1:=P7exp;
      v7exp1:=v7exp;
      H7exp1:=H7exp;
      S7exp1:=S7exp;
      T7sexp1:=val[1,3];
      H7sexp1:=val[5,3];
      S7sexp1:=val[6,3];
      X7sexp1:=val[7,3];
    end;
  T7sexp:=val[1,3];
  H7sexp:=val[5,3];
  S7sexp:=val[6,3];
  X7sexp:=val[7,3];
  X7rexp:=Nu78[0]*X7sexp+(1-Nu78[0])*(H7exp-Hf)/(Hg-Hf);
  if X7rexp<0.98 then
    begin
      if X7sexp>X7s then
        begin
          T7s:=T7sexp;
          H7s:=H7sexp;
          S7s:=S7sexp;
          X7s:=X7sexp;
          X7r:=X7rexp;
          T7:=T7exp;
          P7:=P7exp;
          v7:=v7exp;
          H7:=H7exp;
          S7:=S7exp;
          n7:=n7+1;
        end;
      if X7sexp=0 then n7:=n7+1;
    end
  else n7:=n7+1;
end;

k:=24;
end;
if X3st=0 then
begin
  T3s:=T3sexp1;
  H3s:=H3sexp1;
  S3s:=S3sexp1;
  T3:=T3exp1;
  P3:=P3exp1;
  v3:=v3exp1;
  H3:=H3exp1;

```

```

        S3:=S3exp1;
    end;

    if X5st=0 then
        begin
            T5s:=T5sexp1;
            H5s:=H5sexp1;
            S5s:=S5sexp1;
            T5:=T5exp1;
            P5:=P5exp1;
            v5:=v5exp1;
            H5:=H5exp1;
            S5:=S5exp1;
        end;

    if X7s=0 then
        begin
            T7s:=T7sexp1;
            H7s:=H7sexp1;
            S7s:=S7sexp1;
            T7:=T7exp1;
            P7:=P7exp1;
            v7:=v7exp1;
            H7:=H7exp1;
            S7:=S7exp1;
        end;

    writeln(g);
    writeln(g,'1');
    writeln(g,'c');
    writeln(g,'7');
    writeln(g,Pint1);
    writeln(g,S3);
    writeln(g,'s');
    writeln(g,Pint2);
    writeln(g,S5);
    writeln(g,'x');
    writeln(g);
    writeln(g,'0');

    writeln(gg,n,chr(9),PI,chr(9),PII,chr(9),Pint1,chr(9),Pint2,chr(9),X3s);
    writeln(gg,X5s,chr(9),X7s,chr(9),H3s,chr(9),H5s,chr(9),H7s,chr(9),P3);
    writeln(gg,P5,chr(9),P7,chr(9),v3,chr(9),v5,chr(9),v7,chr(9),H3,chr(9),H5);
    writeln(gg,H7,chr(9),S3,chr(9),S5,chr(9),S7,chr(9),T3,chr(9),T5,chr(9),T7);
    writeln(gg,DP3,chr(9),DT3,chr(9),DP4,chr(9),DT4,chr(9),DP45,chr(9),DP5);

    writeln(gg,DT5,chr(9),DP6,chr(9),DT6,chr(9),DP67,chr(9),DP7,chr(9),DT7,chr(9),T3s,chr(9),T5s,chr(9),T7s);
    writeln(gg,X3st,chr(9),X5st,chr(9),X7st);
    for i:=0 to n do writeln(gg,Nu34[i]);
    for i:=0 to n do writeln(gg,Nu56[i]);
    for i:=0 to n do writeln(gg,Nu78[i]);
    writeln(gg,DTsr);
    writeln(gg,DPn1,chr(9),DP23,chr(9),Puiss,chr(9),Cp);
    close(gg);
    close(g);
    close(ff);
    close(fff);
    close(f)
end.

```

POGRAMME BIS4

```
program essai;
```

```
var
```

```
g,f,gg,ff,ggg : text;  
val : array[1..7]of real;  
H4ss : array[1..12]of real;  
H6ss : array[1..12]of real;  
H8ss : array[1..12]of real;  
Nu34 : array[0..12]of real;  
Nu56 : array[0..12]of real;  
Nu78 : array[0..12]of real;  
i,j,k,n,DT3,DT4,DT5,DT6,DT7,NBit3,NBit5,NBit7,NBit5s : integer;  
PI,PII,Pint1,Pint2,X3s,X5s,X7s,P3,P5,P7,v3,v5,v7,H3,H5,H7,S3,S5,S7,T3,T5,T7,H3s,H5s,H7s : real;  
T4s,T6s,P4s,P6s,H4s,H6s,S4s,S6s,DH1,DH2,DH3,Dh,X3st,X5st,X7st,DTsr,DPn1,DP23 : real;  
DP3,DP4,DP45,DP5,DP6,DP67,DP7,T3s,T5s,T7s,DT1s,DT2s,DT3s,Dt,T3it,T5it,T7it,Puiss,Cp : real;
```

```
begin
```

```
assign(f,'wal3.dat');  
reset(f);  
assign(ff,"");  
reset(ff);  
assign(g,"");  
rewrite(g);  
assign(gg,'wal4a.dat');  
rewrite(gg);  
assign(ggg,'wal4b.dat');  
rewrite(ggg);
```

```
readln(f,n,PI,PII,Pint1,Pint2,X3s,X5s,X7s,H3s,H5s,H7s,P3,P5,P7,v3,v5,v7,H3,H5,H7,S3,S5,S7,T3,T5,T7);  
readln(f,DP3,DT3,DP4,DT4,DP45,DP5,DT5,DP6,DT6,DP67,DP7,DT7,T3s,T5s,T7s,X3st,X5st,X7st);  
for i:=0 to n do readln(f,Nu34[i]);  
for i:=0 to n do readln(f,Nu56[i]);  
for i:=0 to n do readln(f,Nu78[i]);  
readln(f,DTsr);  
readln(f,DPn1,DP23,Puiss,Cp);  
k := 102;  
for i:=1 to k do readln(ff);  
for i:=1 to 6 do read(ff,val[i]);  
T4s:=val[1];  
P4s:=val[2];  
H4s:=val[5];  
S4s:=val[6];  
for i:=1 to 25 do readln(ff);  
for i:=1 to 6 do read(ff,val[i]);  
T6s:=val[1];  
P6s:=val[2];  
H6s:=val[5];  
S6s:=val[6];
```

```
writeln(g);
```

```
writeln(ggg,n,chr(9),PI,chr(9),PII,chr(9),Pint1,chr(9),Pint2,chr(9),X3s,chr(9),X5s);  
writeln(ggg,X7s,chr(9),H3s,chr(9),H5s,chr(9),H7s,chr(9),P3,chr(9),P5,chr(9),P7,v3,chr(9),v5,chr(9),v7);  
writeln(ggg,H3,chr(9),H5,chr(9),H7,chr(9),S3,chr(9),S5,chr(9),S7,chr(9),T3,chr(9),T5);
```

```

writeln(ggg,T7,chr(9),DP3,chr(9),DT3,chr(9),DP4,chr(9),DT4,chr(9),DP45,chr(9),DP5,chr(9),DT5);
writeln(ggg,DP6,chr(9),DT6,chr(9),DP67,chr(9),DP7,chr(9),DT7,chr(9),T3s,chr(9),T5s,chr(9),T7s);
writeln(ggg,T4s,chr(9),T6s,chr(9),P4s,chr(9),P6s,chr(9),H4s,chr(9),H6s,chr(9),S4s,chr(9),S6s);
writeln(ggg,X3st,chr(9),X5st,chr(9),DTsr,chr(9),DPn1,chr(9),DP23,chr(9),Puiss,chr(9),Cp);

```

```

if X3st=0 then
begin

```

```

writeln(gg,'Installation comporte une surchauffe');

```

```

writeln(g,'1');

```

```

writeln(g,'c');

```

```

writeln(g,'3');

```

```

DH1:=H3-H3s;

```

```

Dh:=DH1/n;

```

```

DT1s:=T3-T3s;

```

```

Dt:=DT1s/n;

```

```

if n=1 then

```

```

begin

```

```

H4ss[1]:=H3s+DH1/2;

```

```

end;

```

```

if n=2 then

```

```

begin

```

```

H4ss[1]:=H3s+DH1/3;

```

```

H4ss[2]:=H3s+2*DH1/3;

```

```

end;

```

```

if n>2 then

```

```

begin

```

```

H4ss[1]:=H3s+Dh;

```

```

H4ss[2]:=H3s+3*Dh/2;

```

```

for j:=3 to n do

```

```

begin

```

```

H4ss[j]:=H3s+(j-1)*Dh;

```

```

end;

```

```

end;

```

```

T3it:=T3;

```

```

NBit3:=0;

```

```

repeat

```

```

writeln(g,T3it);

```

```

writeln(g,S3);

```

```

T3it:=T3it-1;

```

```

NBit3:=NBit3+1;

```

```

if T3it>=T3s then writeln(g,'s')

```

```

else

```

```

begin

```

```

writeln(g,'d');

```

```

writeln(g,'6');

```

```

writeln(g,PII);

```

```

writeln(g,H3-Nu34[0]*(H3-H3s));

```

```

writeln(g,'x');

```

```

writeln(g);

```

```

writeln(g,'0');

```

```

end;

```

```

until T3it<T3s;

```

```

for j:=1 to n do writeln(ggg,H4ss[j]);

```

```

writeln(ggg,NBit3);

```

```

end

```

```

else

```

```

if X5st=0 then

```

```

begin

```

```

writeln(gg,'Installation comporte une resurchauffe');
writeln(g,'1');
writeln(g,'c');
writeln(g,'3');
DH1:=H3-H4s;
DH2:=H5-H5s;
Dh:=DH2/(n-1);
DT1s:=T3-T4s;
DT2s:=T5-T5s;
Dt:=DT2s/(n-1);
if n=1 then
  begin
    H6ss[1]:=H4s;
  end;
if n=2 then
  begin
    H6ss[1]:=H5s+DH2/2;
    H6ss[2]:=H4s;
  end;
if n=3 then
  begin
    H6ss[1]:=H5s+DH2/3;
    H6ss[2]:=H5s+2*DH2/3;
    H6ss[3]:=H4s;
  end;
if n>3 then
  begin
    H6ss[1]:=H5s+Dh;
    H6ss[2]:=H5s+3*Dh/2;
    for j:=3 to n-1 do
      begin
        H6ss[j]:=H5s+(j-1)*Dh;
      end;
    H6ss[n]:=H4s;
  end;
T5it:=T5;
NBit5:=0;
repeat
  writeln(g,T5it);
  writeln(g,S5);
  T5it:=T5it-1;
  NBit5:=NBit5+1;
  if T5it>=T5s then writeln(g,'s')
  else
    begin
      writeln(g,'d');
      writeln(g,'6');
      writeln(g,Pint1);
      writeln(g,H3-Nu34[n]*(H3-H6ss[n]));
      writeln(g,'s');
      writeln(g,PII);
      writeln(g,H5-Nu56[0]*(H5-H5s));
      writeln(g,'x');
      writeln(g);
      writeln(g,'0');
    end;
until T5it<T5s;
for j:=1 to n do writeln(ggg,H6ss[j]);
writeln(ggg,NBit5);

```

```

end
else
if X7s=0 then
begin
  writeln(gg,'T7 est trop elev,e');
  writeln(g,'0');
end
else
begin
  writeln(gg,'Installation comporte deux resurchauffe');
  writeln(g,'1');
  writeln(g,'c');
  writeln(g,'3');
  DH1:=H3-H4s;
  DH2:=H5-H6s;
  DH3:=H7-H7s;
  Dh:=DH3/(n-3);
  DT1s:=T3-T4s;
  DT2s:=T5-T6s;
  DT3s:=T7-T7s;
  Dt:=DT3s/(n-3);
  if n=1 then
    begin
      H8ss[1]:=H4s;
    end;
  if n=2 then
    begin
      H8ss[1]:=H6s;
      H8ss[2]:=H4s;
    end;
  if n=3 then
    begin
      H8ss[1]:=H6s;
      H8ss[2]:=H6s+DH2/2;
      H8ss[3]:=H4s;
    end;
  if n=4 then
    begin
      H8ss[1]:=H7s+DH3/2;
      H8ss[2]:=H6s;
      H8ss[3]:=H6s+DH2/2;
      H8ss[4]:=H4s;
    end;
  if n=5 then
    begin
      H8ss[1]:=H7s+DH3/3;
      H8ss[2]:=H7s+2*DH3/3;
      H8ss[3]:=H6s;
      H8ss[4]:=H6s+DH2/2;
      H8ss[5]:=H4s;
    end;
  if n>5 then
    begin
      H8ss[1]:=H7s+Dh;
      H8ss[2]:=H7s+3*Dh/2;
      for j:=3 to n-3 do
        begin
          H8ss[j]:=H7s+(j-1)*Dh;
        end;
    end;

```

```

        H8ss[n-2]:=H6s;
        H8ss[n-1]:=H6s+DH2/2;
        H8ss[n]:=H4s;
    end;
    T7it:=T7;
    T5it:=T5;
    NBit7:=0;
    NBit5s:=0;
    repeat
        writeln(g,T7it);
        writeln(g,S7);
        writeln(g,'s');
        T7it:=T7it-1;
        NBit7:=NBit7+1;
    until T7it<T7s;
    repeat
        writeln(g,T5it);
        writeln(g,S5);
        T5it:=T5it-1;
        NBit5s:=NBit5s+1;
        if T5it>=T6s then writeln(g,'s')
            else
                begin
                    writeln(g,'d');
                    writeln(g,'6');
                    writeln(g,Pint1);
                    writeln(g,H3-Nu34[n]*(H3-H8ss[n]));
                    writeln(g,'s');
                    writeln(g,Pint2);
                    writeln(g,H5-Nu56[n-2]*(H5-H8ss[n-2]));
                    writeln(g,'s');
                    writeln(g,PII);
                    writeln(g,H7-Nu78[0]*(H7-H7s));
                    writeln(g,'x');
                    writeln(g);
                    writeln(g,'0');
                end;
        until T5it<T6s;
        for j:=1 to n do writeln(ggg,H8ss[j]);
        writeln(ggg,NBit7,chr(9),NBit5s);
    end;
    for i:=0 to n do writeln(ggg,Nu34[i]);
    for i:=0 to n do writeln(ggg,Nu56[i]);
    for i:=0 to n do writeln(ggg,Nu78[i]);
    close(ggg);
    close(gg);
    close(g);
    close(ff);
    close(f)
end.

```

PROGRAMME BISS

```
program essai;
var
  g,f,gg,ff,ggg,fff : text;
  val : array[1..7]of real;
  H4ss : array[1..12]of real;
  DH4 : array[1..12]of real;
  H6ss : array[1..12]of real;
  DH6 : array[1..12]of real;
  H8ss : array[1..12]of real;
  DH8 : array[1..12]of real;
  T4sit : array[1..12]of real;
  P4ss : array[1..12]of real;
  H4sit : array[1..12]of real;
  S4sit : array[1..12]of real;
  T6sit : array[1..12]of real;
  P6ss : array[1..12]of real;
  H6sit : array[1..12]of real;
  S6sit : array[1..12]of real;
  T8sit : array[1..12]of real;
  P8ss : array[1..12]of real;
  H8sit : array[1..12]of real;
  S8sit : array[1..12]of real;
  Nu34 : array[0..12]of real;
  Nu56 : array[0..12]of real;
  Nu78 : array[0..12]of real;
  x : array[1..50]of char;
  i,j,k,n,NBit3,NBit5,NBit7,NBit5s : integer;
  DT3,DT4,DT5,DT6,DT7 : real;
  PI,PII,Pint1,Pint2,X3s,X5s,X7s,P3,P5,P7,v3,v5,v7,H3,H5,H7,S3,S5,S7,T3,T5,T7,H3s,H5s,H7s : real;
  T4s,T6s,P4s,P6s,H4s,H6s,S4s,S6s,DH1,DH2,DH3,Dh,T3it,T5it,T7it,DTsr,DPn1,DP23,X8,X4,X6,Puiss,Cp
:real;
  DP3,DP4,DP45,DP5,DP6,DP67,DP7,T3s,T5s,T7s,DT1s,DT2s,DT3s,Dt,X3st,X5st,T4,P4,T6,P6,T8,P8 :real;

begin
  assign(f,"");
  reset(f);
  assign(ff,'wal4a.dat');
  reset(ff);
  assign(fff,'wal4b.dat');
  reset(fff);
  assign(g,"");
  rewrite(g);
  assign(gg,'wal5a.dat');
  rewrite(gg);
  assign(ggg,'wal5b.dat');
  rewrite(ggg);
  readln(fff,n,PI,PII,Pint1,Pint2,X3s,X5s,X7s,H3s,H5s,H7s,P3,P5,P7,v3,v5,v7,H3,H5,H7,S3,S5,S7,T3,T5);
  readln(fff,T7,DP3,DT3,DP4,DT4,DP45,DP5,DT5);
  readln(fff,DP6,DT6,DP67,DP7,DT7,T3s,T5s,T7s);
  readln(fff,T4s,T6s,P4s,P6s,H4s,H6s,S4s,S6s,X3st,X5st,DTsr,DPn1,DP23,Puiss,Cp);

  writeln(g);

  writeln(ggg,n,chr(9),PI,chr(9),PII,chr(9),Pint1,chr(9),Pint2,chr(9),X3s,chr(9),X5s);

  writeln(ggg,X7s,chr(9),H3s,chr(9),H5s,chr(9),H7s,chr(9),P3,chr(9),P5,chr(9),P7,chr(9),v3,chr(9),v5,chr(9),v7);
  writeln(ggg,H3,chr(9),H5,chr(9),H7,chr(9),S3,chr(9),S5,chr(9),S7,chr(9),T3,chr(9),T5);
  writeln(ggg,T7,chr(9),DP3,chr(9),DT3,chr(9),DP4,chr(9),DT4,chr(9),DP45,chr(9),DP5,chr(9),DT5);
```

```

writeln(ggg,DP6,chr(9),DT6,chr(9),DP67,chr(9),DP7,chr(9),DT7,chr(9),T3s,chr(9),T5s,chr(9),T7s);
writeln(ggg,T4s,chr(9),T6s,chr(9),P4s,chr(9),P6s,chr(9),H4s,chr(9),H6s,chr(9),S4s,chr(9),S6s);
writeln(ggg,X3st,chr(9),X5st,chr(9),DPn1,chr(9),DP23,chr(9),Puiss,chr(9),Cp);

```

```

if X3st=0 then
begin
k:=102;
i:=1;
while not eoln(ff) do
begin
read(ff,x[i]);
i:=i+1;
end;
for i:=1 to 50 do write(gg,x[i]);
writeln(g,'1');
writeln(g,'c');
writeln(g,'8');
for i:=1 to n do readln(fff,H4ss[i]);
readln(fff,NBit3);
for j:=1 to NBit3 do
begin
for i:=1 to k do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
for i:=1 to n do
begin
DH4[i]:=abs(H4ss[i]-val[5]);
if j=1 then
begin
P4ss[i]:=val[2];
H4sit[i]:=val[5];
end
else
if DH4[i]<abs(H4ss[i]-H4sit[i]) then
begin
P4ss[i]:=val[2];
H4sit[i]:=val[5];
end;
end;
end;
k:=25;
end;
for i:=1 to 38 do readln(f);
i:=1;
while not eoln(f) do
begin
read(f,val[i]);
i:=i+1;
end;
T4:=val[1];
P4:=val[2];
X4:=val[7];
DP3:=(5+0.15*(P3-14))*P3/100;
DP4:=1.7*P4/100;
DP45:=5.5*P4/100;
DP5:=3*(P4-DP4-DP45)/100;
DP6:=3*P6/100;
DP67:=3*P6/100;
DP7:=3*(P6-DP6-DP67)/100;
DT3:=round(0.01*T3);

```

```

DT4:=round(0.01*T4);
DT5:=round(0.01*T5);
DT6:=round(0.01*T6);
DT7:=round(0.01*T7);
DP23:=6*P3/100;
for i:=1 to n do
begin
writeln(g,P4ss[i]);
writeln(g,'0');
if i<n then writeln(g,'s')
else
begin
writeln(g,'d');
writeln(g,'1');
writeln(g,T3s-DTsr);
writeln(g,PII);
writeln(g,'d');
writeln(g,'8');
writeln(g,P4ss[n]);
writeln(g,'0');
writeln(g,'d');
writeln(g,'1');
writeln(g,T3+DT3);
writeln(g,P3+DP3);
writeln(g,'x');
writeln(g);
writeln(g,'0');
end;
end;
for i:=1 to n do writeln(ggg,P4ss[i],chr(9),H4ss[i]);
writeln(ggg,X4);
writeln(ggg,T4,chr(9),P4);
writeln(ggg,DP3,chr(9),DT3,chr(9),DP4,chr(9),DT4,chr(9),DP5,chr(9),DT5);
writeln(ggg,DP6,chr(9),DT6,chr(9),DP7,chr(9),DT7,chr(9),DP23);
end
else
if X5st=0 then
begin
k:=102;
i:=1;
while not eoln(ff) do
begin
read(ff,x[i]);
i:=i+1;
end;
for i:=1 to 50 do write(gg,x[i]);
writeln(g,'1');
writeln(g,'c');
writeln(g,'8');
for i:=1 to n do readln(fff,H6ss[i]);
readln(fff,NBit5);
for j:=1 to NBit5 do
begin
for i:=1 to k do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
for i:=1 to n-1 do
begin
DH6[i]:=abs(H6ss[i]-val[5]);
if j=1 then

```

```

begin
  P6ss[i]:=val[2];
  H6sit[i]:=val[5];
end
else
if DH6[i]<abs(H6ss[i]-H6sit[i]) then
begin
  P6ss[i]:=val[2];
  H6sit[i]:=val[5];
end;

end;
k:=25;
end;
P6ss[n]:=P4s;
for i:=1 to 38 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
T4:=val[1];
P4:=val[2];
for i:=1 to 25 do readln(f);
i:=1;
while not eoln(f) do
begin
  read(f,val[i]);
  i:=i+1;
end;
T6:=val[1];
P6:=val[2];
X6:=val[7];
DP3:=(5+0.15*(P3-14))*P3/100;
DP4:=1.7*P4/100;
DP45:=5.5*P4/100;
DP5:=3*(P4-DP4-DP45)/100;
DP6:=3*P6/100;
DP67:=3*P6/100;
DP7:=3*(P6-DP6-DP67)/100;
DT3:=round(0.01*T3);
DT4:=round(0.01*T4);
DT5:=round(0.01*T5);
DT6:=round(0.01*T6);
DT7:=round(0.01*T7);
DP23:=6*P3/100;
for i:=1 to n do
begin
  writeln(g,P6ss[i]);
  writeln(g,'0');
  if i<n then writeln(g,'s')
  else
  begin
    writeln(g,'d');
    writeln(g,'1');
    writeln(g,T5s-DTsr);
    writeln(g,PII);
    writeln(g,'d');
    writeln(g,'8');
    writeln(g,P6ss[n]);
    writeln(g,'0');
    writeln(g,'d');
    writeln(g,'1');
  end;
end;

```

```

        writeln(g,T3+DT3);
        writeln(g,P3+DP3);
        writeln(g,'s');
        writeln(g,T4-DT4);
        writeln(g,P4-DP4);
        writeln(g,'s');
        writeln(g,T5+DT5);
        writeln(g,P5+DP5);
        writeln(g,'x');
        writeln(g);
        writeln(g,'0');
    end;
    end;
    for i:=1 to n do writeln(ggg,P6ss[i],chr(9),H6ss[i]);
    writeln(ggg,X6);
    writeln(ggg,T4,chr(9),P4,chr(9),T6,chr(9),P6);
    writeln(ggg,DP3,chr(9),DT3,chr(9),DP4,chr(9),DT4,chr(9),DP5,chr(9),DT5);
    writeln(ggg,DP6,chr(9),DT6,chr(9),DP7,chr(9),DT7,chr(9),DP23);
    end.
else
if X7s=0 then
begin
    writeln(g,'0');
    i:=1;
    while not eoln(ff) do
        begin
            read(ff,x[i]);
            i:=i+1;
        end;
    for i:=1 to 50 do write(gg,x[i]);
    end
else
begin
    k:=102;
    i:=1;
    while not eoln(ff) do
        begin
            read(ff,x[i]);
            i:=i+1;
        end;
    for i:=1 to 50 do write(gg,x[i]);
    writeln(g,'l');
    writeln(g,'c');
    writeln(g,'8');
    for i:=1 to n do readln(fff,H8ss[i]);
    readln(fff,NBit7,NBit5s);
    for j:=1 to NBit7 do
        begin
            for i:=1 to k do readln(f);
            for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
            for i:=1 to n do
                begin
                    DH8[i]:=abs(H8ss[i]-val[5]);
                    if j=1 then
                        begin
                            P8ss[i]:=val[2];
                            H8sit[i]:=val[5];
                        end
                    end
                end
            else

```

```

        if DH8[i]<abs(H8ss[i]-H8sit[i]) then
            begin
                P8ss[i]:=val[2];
                H8sit[i]:=val[5];
            end;
        end;
        k:=25;
    end;
    for j:=1 to NBit5s do
        begin
            for i:=1 to 25 do readln(f);
            for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
            DH8[n-1]:=abs(H8ss[n-1]-val[5]);
            if j=1 then
                begin
                    P8ss[n-1]:=val[2];
                    H8sit[n-1]:=val[5];
                end
            else
                if DH8[n-1]<abs(H8ss[n-1]-H8sit[n-1]) then
                    begin
                        P8ss[n-1]:=val[2];
                        H8sit[n-1]:=val[5];
                    end;
            end;
        end;
    P8ss[n-2]:=P6s;
    P8ss[n]:=P4s;
    for i:=1 to 38 do readln(f);
    for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
    T4:=val[1];
    P4:=val[2];
    for i:=1 to 25 do readln(f);
    for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
    T6:=val[1];
    P6:=val[2];
    for i:=1 to 25 do readln(f);
    i:=1;
    while not eoln(f) do
        begin
            read(f,val[i]);
            i:=i+1;
        end;
    T8:=val[1];
    P8:=val[2];
    X8:=val[7];
    DP3:=(5+0.15*(P3-14))*P3/100;
    DP4:=1.7*P4/100;
    DP45:=5.5*P4/100;
    DP5:=3*(P4-DP4-DP45)/100;
    DP6:=3*P6/100;
    DP67:=3*P6/100;
    DP7:=3*(P6-DP6-DP67)/100;
    DT3:=round(0.01*T3);
    DT4:=round(0.01*T4);
    DT5:=round(0.01*T5);
    DT6:=round(0.01*T6);
    DT7:=round(0.01*T7);
    DP23:=6*P3/100;
    for i:=1 to n do

```

```

begin
  writeln(g,P8ss[i]);
  writeln(g,'0');
  if i<n then writeln(g,'s')
  else
    begin
      writeln(g,'d');
      writeln(g,'1');
      writeln(g,T7s-DTsr);
      writeln(g,PII);
      writeln(g,'d');
      writeln(g,'8');
      writeln(g,P8ss[n]);
      writeln(g,'0');
      writeln(g,'d');
      writeln(g,'1');
      writeln(g,T3+DT3);
      writeln(g,P3+DP3);
      writeln(g,'s');
      writeln(g,T4-DT4);
      writeln(g,P4-DP4);
      writeln(g,'s');
      writeln(g,T5+DT5);
      writeln(g,P5+DP5);
      writeln(g,'s');
      writeln(g,T6-DT6);
      writeln(g,P6-DP6);
      writeln(g,'s');
      writeln(g,T7+DT7);
      writeln(g,P7+DP7);
      writeln(g,'x');
      writeln(g);
      writeln(g,'0');
    end;
  end;
  for i:=1 to n do writeln(ggg,P8ss[i],chr(9),H8ss[i]);
  writeln(ggg,X8);
  writeln(ggg,T4,chr(9),P4,chr(9),T6,chr(9),P6,chr(9),T8,chr(9),P8);
  writeln(ggg,DP3,chr(9),DT3,chr(9),DP4,chr(9),DT4,chr(9),DP5,chr(9),DT5);
  writeln(ggg,DP6,chr(9),DT6,chr(9),DP7,chr(9),DT7,chr(9),DP23);
  end;
  for i:=0 to n do readln(fff,Nu34[i]);
  for i:=0 to n do readln(fff,Nu56[i]);
  for i:=0 to n do readln(fff,Nu78[i]);

  for i:=0 to n do writeln(ggg,Nu34[i]);
  for i:=0 to n do writeln(ggg,Nu56[i]);
  for i:=0 to n do writeln(ggg,Nu78[i]);

  close(ggg);
  close(gg);
  close(g);
  close(fff);
  close(ff);
  close(f)
end.

```



```

        if DH8[i]<abs(H8ss[i]-H8sit[i]) then
            begin
                P8ss[i]:=val[2];
                H8sit[i]:=val[5];
            end;
        end;
    k:=25;
end;
for j:=1 to NBit5s do
    begin
        for i:=1 to 25 do readln(f);
        for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
        DH8[n-1]:=abs(H8ss[n-1]-val[5]);
        if j=1 then
            begin
                P8ss[n-1]:=val[2];
                H8sit[n-1]:=val[5];
            end
        else
            if DH8[n-1]<abs(H8ss[n-1]-H8sit[n-1]) then
                begin
                    P8ss[n-1]:=val[2];
                    H8sit[n-1]:=val[5];
                end;
            end;
    P8ss[n-2]:=P6s;
    P8ss[n]:=P4s;
    for i:=1 to 38 do readln(f);
    for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
    T4:=val[1];
    P4:=val[2];
    for i:=1 to 25 do readln(f);
    for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
    T6:=val[1];
    P6:=val[2];
    for i:=1 to 25 do readln(f);
    i:=1;
    while not eoln(f) do
        begin
            read(f,val[i]);
            i:=i+1;
        end;
    T8:=val[1];
    P8:=val[2];
    X8:=val[7];
    DP3:=(5+0.15*(P3-14))*P3/100;
    DP4:=1.7*P4/100;
    DP45:=5.5*P4/100;
    DP5:=3*(P4-DP4-DP45)/100;
    DP6:=3*P6/100;
    DP67:=3*P6/100;
    DP7:=3*(P6-DP6-DP67)/100;
    DT3:=round(0.01*T3);
    DT4:=round(0.01*T4);
    DT5:=round(0.01*T5);
    DT6:=round(0.01*T6);
    DT7:=round(0.01*T7);
    DP23:=6*P3/100;
    for i:=1 to n do

```

PROGRAMME BIS6

```
program essai;
```

```
var
```

```
g,f,gg,ff,fff,ggg,gggg : text;  
val : array[1..7]of real;  
H4ss : array[1..12]of real;  
H6ss : array[1..12]of real;  
H8ss : array[1..12]of real;  
P4ss : array[1..12]of real;  
P6ss : array[1..12]of real;  
P8ss : array[1..12]of real;  
Hf : array[1..12]of real;  
H4r : array[1..12]of real;  
H6r : array[1..12]of real;  
H8r : array[1..12]of real;  
Nu34 : array[0..12]of real;  
Nu56 : array[0..12]of real;  
Nu78 : array[0..12]of real;  
Y : array[1..12]of real;  
X : array[1..12]of real;  
Tf : array[1..12]of real;
```

```
z : array[1..50]of char;
```

```
i,j,k,n : integer;
```

```
DT3,DT4,DT5,DT6,DT7 : real;
```

```
PI,PII,Pint1,Pint2,X3s,X5s,X7s,P3,P5,P7,v3,v5,v7,H3,H5,H7,S3,S5,S7,T3,T5,T7,H3s,H5s,H7s : real;
```

```
T4s,T6s,P4s,P6s,H4s,H6s,S4s,S6s,DH1,DH2,DH3,Dh,H4,H6,H8,H9,H1,P1,P2,Nutot,Pv_Pv,Pc,Cn,T2 : real;
```

```
DP3,DP4,DP45,DP5,DP6,DP67,DP7,T3s,T5s,T7s,X3st,X5st,DPn1,DP23,v1,v2,T_3,P4,T6,P6,T8,P8 : real;
```

```
P_3,H_3,P_4,T_4,H_4,P_5,T_5,H_5,P_6,T_6,H_6,P_7,T_7,H_7,v,H2,W,Q,Nu1,X4,X6,X8,T4,Puiss,Cp,TI :  
real;
```

```
begin
```

```
assign(f,"");
```

```
reset(f);
```

```
assign(ff,'wal5a.dat');
```

```
reset(ff);
```

```
assign(fff,'wal5b.dat');
```

```
reset(fff);
```

```
assign(g,"");
```

```
rewrite(g);
```

```
assign(gg,'wal6a.dat');
```

```
rewrite(gg);
```

```
assign(ggg,'res.dat');
```

```
rewrite(ggg);
```

```
assign(gggg,'wal6b.dat');
```

```
rewrite(gggg);
```

```
readln(fff,n,PI,PII,Pint1,Pint2,X3s,X5s,X7s,H3s,H5s,H7s,P3,P5,P7,v3,v5,v7,H3,H5,H7,S3,S5,S7,T3,T5);
```

```
readln(fff,T7,DP3,DT3,DP4,DT4,DP45,DP5,DT5);
```

```
readln(fff,DP6,DT6,DP67,DP7,DT7,T3s,T5s,T7s);
```

```
readln(fff,T4s,T6s,P4s,P6s,H4s,H6s,S4s,S6s,X3st,X5st,DPn1,DP23,Puiss,Cp);
```

```
writeln(gggg,n,PI,PII,Pint1,Pint2,X3s,X5s,X7s,H3s,H5s,H7s,P3,P5,P7,v3,v5,v7,H3,H5,H7,S3,S5,S7,T3,T5);
```

```
writeln(gggg,T7,DP3,DT3,DP4,DT4,DP45,DP5,DT5);
```

```
writeln(gggg,DP6,DT6,DP67,DP7,DT7,T3s,T5s,T7s);
```

```
writeln(gggg,T4s,T6s,P4s,P6s,H4s,H6s,S4s,S6s,X3st,X5st,DPn1,DP23,Puiss,Cp);
```

```

if X3st=0 then
begin
k:=102;
i:=1;
while not eoln(ff) do
begin
read(ff,z[i]);
i:=i+1;
end;
for i:=1 to 50 do write(gg,z[i]);
for i:=1 to n do readln(ff,P4ss[i],H4ss[i]);
readln(ff,X4);
readln(ff,T4,P4);
readln(ff,DP3,DT3,DP4,DT4,DP5,DT5,DP6,DT6,DP7,DT7,DP23);
for i:=0 to n do readln(ff,Nu34[i]);
for i:=0 to n do readln(ff,Nu56[i]);
for i:=0 to n do readln(ff,Nu78[i]);
for j:=1 to n do
begin
for i:=1 to k do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
Tf[j]:=val[1];
k:=25
end;
for i:=1 to 38 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
H5:=val[5];
for i:=1 to 38 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
T1:=val[1];
for i:=1 to 38 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
T_3:=val[1];
P_3:=val[2];
H_3:=val[5];
writeln(g);
writeln(g,'1');
writeln(g,'c');
writeln(g,'1');
writeln(g,T1);
writeln(g,P4ss[n]+DPn1);
writeln(g,'s');
for i:=1 to n do
begin
writeln(g,Tf[i]);
writeln(g,P4ss[n]+DPn1);
if i<n then writeln(g,'s')
else
begin
writeln(g,'x');
writeln(g);
writeln(g,'0');
end;
end;
for i:=1 to n do writeln(gggg,P4ss[i],chr(9),H4ss[i]);
writeln(gggg,X4);

```

```

begin
  writeln(g,P8ss[i]);
  writeln(g,'0');
  if i<n then writeln(g,'s')
  else
    begin
      writeln(g,'d');
      writeln(g,'1');
      writeln(g,T7s-DTsr);
      writeln(g,PII);
      writeln(g,'d');
      writeln(g,'8');
      writeln(g,P8ss[n]);
      writeln(g,'0');
      writeln(g,'d');
      writeln(g,'1');
      writeln(g,T3+DT3);
      writeln(g,P3+DP3);
      writeln(g,'s');
      writeln(g,T4-DT4);
      writeln(g,P4-DP4);
      writeln(g,'s');
      writeln(g,T5+DT5);
      writeln(g,P5+DP5);
      writeln(g,'s');
      writeln(g,T6-DT6);
      writeln(g,P6-DP6);
      writeln(g,'s');
      writeln(g,T7+DT7);
      writeln(g,P7+DP7);
      writeln(g,'x');
      writeln(g);
      writeln(g,'0');
    end;
  end;
  for i:=1 to n do writeln(ggg,P8ss[i],chr(9),H8ss[i]);
  writeln(ggg,X8);
  writeln(ggg,T4,chr(9),P4,chr(9),T6,chr(9),P6,chr(9),T8,chr(9),P8);
  writeln(ggg,DP3,chr(9),DT3,chr(9),DP4,chr(9),DT4,chr(9),DP5,chr(9),DT5);
  writeln(ggg,DP6,chr(9),DT6,chr(9),DP7,chr(9),DT7,chr(9),DP23);
  end;
  for i:=0 to n do readln(fff,Nu34[i]);
  for i:=0 to n do readln(fff,Nu56[i]);
  for i:=0 to n do readln(fff,Nu78[i]);

  for i:=0 to n do writeln(ggg,Nu34[i]);
  for i:=0 to n do writeln(ggg,Nu56[i]);
  for i:=0 to n do writeln(ggg,Nu78[i]);

  close(ggg);
  close(gg);
  close(g);
  close(fff);
  close(ff);
  close(f)
end.

```

```

writeln(gggg,T4,chr(9),P4);
writeln(gggg,DP3,chr(9),DT3,chr(9),DP4,chr(9),DT4,chr(9),DP5);
writeln(gggg,DT5,chr(9),DP6,chr(9),DT6,chr(9),DP7,chr(9),DT7,chr(9),DP23);
for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu34[i]);
for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu56[i]);
for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu78[i]);
writeln(gggg,H5,T_3,P_3,H_3);
end
else
if X5st=0 then
begin
k:=102;
i:=1;
while not eoln(ff) do
begin
read(ff,z[i]);
i:=i+1;
end;
for i:=1 to 50 do write(gg,z[i]);
for i:=1 to n do readln(fff,P6ss[i],H6ss[i]);
readln(fff,X6);
readln(fff,T4,P4,T6,P6);
readln(fff,DP3,DT3,DP4,DT4,DP5,DT5,DP6,DT6,DP7,DT7,DP23);
for i:=0 to n do readln(fff,Nu34[i]);
for i:=0 to n do readln(fff,Nu56[i]);
for i:=0 to n do readln(fff,Nu78[i]);
for j:=1 to n do
begin
for i:=1 to k do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
Tf[j]:=val[1];
k:=25;
end;
for i:=1 to 38 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
H7:=val[5];
for i:=1 to 38 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
T1:=val[1];
for i:=1 to 38 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
T_3:=val[1];
P_3:=val[2];
H_3:=val[5];
for i:=1 to 25 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
T_4:=val[1];
P_4:=val[2];
H_4:=val[5];
for i:=1 to 25 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
T_5:=val[1];
P_5:=val[2];
H_5:=val[5];
writeln(g);
writeln(g,'1');
writeln(g,'c');
writeln(g,'1');
writeln(g,T1);

```

```

writeln(g,P6ss[n]+DPn1);
writeln(g,'s');
for i:=1 to n do
begin
  writeln(g,Tf[i]);
  writeln(g,P6ss[n]+DPn1);
  if i<n then writeln(g,'s')
  else
  begin
    writeln(g,'x');
    writeln(g);
    writeln(g,'0');
  end;
end;
for i:=1 to n do writeln(gggg,P6ss[i],chr(9),H6ss[i]);
writeln(gggg,X6);
writeln(gggg,T4,chr(9),P4,chr(9),T6,chr(9),P6);
writeln(gggg,DP3,chr(9),DT3,chr(9),DP4,chr(9),DT4,chr(9),DP5);
writeln(gggg,DT5,chr(9),DP6,chr(9),DT6,chr(9),DP7,chr(9),DT7,chr(9),DP23);
for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu34[i]);
for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu56[i]);
for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu78[i]);
writeln(gggg,H7,T_3,P_3,H_3,T_4,P_4,H_4,T_5,P_5,H_5);
end
else
if X7s=0 then
begin
  writeln(g);
  writeln(g,'0');
  writeln(ggg,'T7 est trop elev,e');
  i:=1;
  while not eoln(ff) do
  begin
    read(ff,z[i]);
    i:=i+1;
  end;
  for i:=1 to 50 do write(gg,z[i]);
end
else
begin
  k:=102;
  i:=1;
  while not eoln(ff) do
  begin
    read(ff,z[i]);
    i:=i+1;
  end;
  for i:=1 to 50 do write(gg,z[i]);
  for i:=1 to n do readln(fff,P8ss[i],H8ss[i]);
  readln(fff,X8);
  readln(fff,T4,P4,T6,P6,T8,P8);
  readln(fff,DP3,DT3,DP4,DT4,DP5,DT5,DP6,DT6,DP7,DT7,DP23);
  for i:=0 to n do readln(fff,Nu34[i]);
  for i:=0 to n do readln(fff,Nu56[i]);
  for i:=0 to n do readln(fff,Nu78[i]);

  for j:=1 to n do
  begin
    for i:=1 to k do readln(f);
  end;
end;

```

```

    for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
    Tf[j]:=val[1];
    k:=25;
    end;
  for i:=1 to 38 do readln(f);
  for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
  H9:=val[5];
  for i:=1 to 38 do readln(f);
  for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
  T1:=val[1];
  for i:=1 to 38 do readln(f);
  for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
  T_3:=val[1];
  P_3:=val[2];
  H_3:=val[5];
  for i:=1 to 25 do readln(f);
  for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
  T_4:=val[1];
  P_4:=val[2];
  H_4:=val[5];
  for i:=1 to 25 do readln(f);
  for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
  T_5:=val[1];
  P_5:=val[2];
  H_5:=val[5];
  for i:=1 to 25 do readln(f);
  for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
  T_6:=val[1];
  P_6:=val[2];
  H_6:=val[5];
  for i:=1 to 25 do readln(f);
  for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
  T_7:=val[1];
  P_7:=val[2];
  H_7:=val[5];
  writeln(g);
  writeln(g,'1');
  writeln(g,'c');
  writeln(g,'1');
  writeln(g,T1);
  writeln(g,P8ss[n]+DPn1);
  writeln(g,'s');
  for i:=1 to n do
  begin
    writeln(g,Tf[i]);
    writeln(g,P8ss[n]+DPn1);
    if i<n then writeln(g,'s')
    else
      begin
        writeln(g,'x');
        writeln(g);
        writeln(g,'0');
      end;
  end;
  end;
  for i:=1 to n do writeln(gggg,P8ss[i],chr(9),H8ss[i]);
  writeln(gggg,X8);
  writeln(gggg,T4,chr(9),P4,chr(9),T6,chr(9),P6,chr(9),T8,chr(9),P8);
  writeln(gggg,DP3,chr(9),DT3,chr(9),DP4,chr(9),DT4,chr(9),DP5);
  writeln(gggg,DT5,chr(9),DP6,chr(9),DT6,chr(9),DP7,chr(9),DT7,chr(9),DP23);

```

```
for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu34[i]);
for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu56[i]);
for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu78[i]);
writeln(gggg,H9,T_3,P_3,H_3,T_4,P_4,H_4,T_5,P_5,H_5,T_6,P_6,H_6,T_7,P_7,H_7);
end;
```

```
close(gggg);
close(ggg);
close(gg);
close(g);
close(ff);
close(ff);
close(f)
```

```
end.
```

PROGRAMME BIS7

```
program essai;
```

```
var
```

```
g,f,gg,ff,fff,ggg,gggg : text;  
val : array[1..7]of real;  
H4ss : array[1..12]of real;  
H6ss : array[1..12]of real;  
H8ss : array[1..12]of real;  
P4ss : array[1..12]of real;  
P6ss : array[1..12]of real;  
P8ss : array[1..12]of real;  
Hf : array[1..12]of real;  
H4r : array[1..12]of real;  
H6r : array[1..12]of real;  
H8r : array[1..12]of real;  
Nu34 : array[0..12]of real;  
Nu56 : array[0..12]of real;  
Nu78 : array[0..12]of real;  
Y : array[1..12]of real;  
X : array[1..12]of real;  
Tf : array[1..12]of real;  
Pf : array[1..12]of real;  
Sf : array[1..12]of real;  
z : array[1..50]of char;
```

```
i,j,k,n : integer;
```

```
DT3,DT4,DT5,DT6,DT7 : real;
```

```
PI,PII,Pint1,Pint2,X3s,X5s,X7s,P3,P5,P7,v3,v5,v7,H3,H5,H7,S3,S5,S7,T3,T5,T7,H3s,H5s,H7s : real;
```

```
T4s,T6s,P4s,P6s,H4s,H6s,S4s,S6s,DH1,DH2,DH3,Dh,H4,H6,H8,H9,H1,P1,P2,Nutot,Pv_,Pv,Pc,Cn,T2 : real;
```

```
DP3,DP4,DP45,DP5,DP6,DP67,DP7,T3s,T5s,T7s,X3st,X5st,DPn1,DP23,v1,v2,T_3,P4,T6,P6,T8,P8,S1 : real;
```

```
P_3,H_3,P_4,T_4,H_4,P_5,T_5,H_5,P_6,T_6,H_6,P_7,T_7,H_7,v,H2,W,Q,Nu1,X4,X6,X8,T4,Puiss,Cp,T1 :  
real;
```

```
begin
```

```
  assign(f,"");
```

```
  reset(f);
```

```
  assign(ff,'wal6a.dat');
```

```
  reset(ff);
```

```
  assign(fff,'wal6b.dat');
```

```
  reset(fff);
```

```
  assign(g,"");
```

```
  rewrite(g);
```

```
  assign(gg,'wal7a.dat');
```

```
  rewrite(gg);
```

```
  assign(ggg,'res.dat');
```

```
  rewrite(ggg);
```

```
  assign(gggg,'wal7b.dat');
```

```
  rewrite(gggg);
```

```
  readln(fff,n,PI,PII,Pint1,Pint2,X3s,X5s,X7s,H3s,H5s,H7s,P3,P5,P7,v3,v5,v7,H3,H5,H7,S3,S5,S7,T3,T5);
```

```
  readln(fff,T7,DP3,DT3,DP4,DT4,DP45,DP5,DT5);
```

```
  readln(fff,DP6,DT6,DP67,DP7,DT7,T3s,T5s,T7s);
```

```
  readln(fff,T4s,T6s,P4s,P6s,H4s,H6s,S4s,S6s,X3st,X5st,DPn1,DP23,Puiss,Cp);
```

```

writeln(gggg,n,P1,PII,Pint1,Pint2,X3s,X5s,X7s,H3s,H5s,H7s,P3,P5,P7,v3,v5,v7,H3,H5,H7,S3,S5,S7,T3,T5);
writeln(gggg,T7,DP3,DT3,DP4,DT4,DP45,DP5,DT5);
writeln(gggg,DP6,DT6,DP67,DP7,DT7,T3s,T5s,T7s);
writeln(gggg,T4s,T6s,P4s,P6s,H4s,H6s,S4s,S6s,X3st,X5st,DPn1,DP23,Puiss,Cp);

```

```

if X3st=0 then
  begin
    k:=102;
    i:=1;
    while not eoln(ff) do
      begin
        read(ff,z[i]);
        i:=i+1;
      end;
    for i:=1 to 50 do write(gg,z[i]);
    for i:=1 to n do readln(ff,P4ss[i],H4ss[i]);
    readln(ff,X4);
    readln(ff,T4,P4);
    readln(ff,DP3,DT3,DP4,DT4,DP5,DT5,DP6,DT6,DP7,DT7,DP23);
    for i:=0 to n do readln(ff,Nu34[i]);
    for i:=0 to n do readln(ff,Nu56[i]);
    for i:=0 to n do readln(ff,Nu78[i]);
    readln(ff,H5,T_3,P_3,H_3);

    for i:=1 to 102 do readln(f);
    for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
    T1:=val[1];
    P1:=val[2];
    H1:=val[5];
    S1:=val[6];
    for j:=1 to n do
      begin
        for i:=1 to 25 do readln(f);
        for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
        Tf[j]:=val[1];
        Pf[j]:=val[2];
        Hf[j]:=val[5];
        Sf[j]:=val[6];
      end;
    writeln(g);
    writeln(g,'1');
    writeln(g,'c');
    writeln(g,'6');
    writeln(g,P3+DP23);
    writeln(g,H1+(P3+DP23-P1)/0.8);
    writeln(g,'s');
    writeln(g,PII);
    writeln(g,H3-Nu34[0]*(H3-H3s));
    writeln(g,'s');
    for i:=1 to n do
      begin
        writeln(g,P4ss[i]);
        writeln(g,H3-Nu34[i]*(H3-H4ss[i]));
        if i<n then writeln(g,'s')
        else
          begin
            writeln(g,'x');

```

```

        writeln(g);
        writeln(g,'0');
    end;
    end;
    for i:=1 to n do writeln(gggg,P4ss[i],H4ss[i]);
    writeln(gggg,X4);
    writeln(gggg,T4,P4);
    writeln(gggg,DP3,DT3,DP4,DT4,DP5,DT5,DP6,DT6,DP7,DT7,DP23);
    for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu34[i]);
    for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu56[i]);
    for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu78[i]);
    writeln(gggg,H5,T_3,P_3,H_3);
    for i:=1 to n do writeln(gggg,Tf[i],Hf[i]);

    end
    else
    if X5st=0 then
    begin
    k:=102;
    i:=1;
    while not eoln(ff) do
    begin
    read(ff,z[i]);
    i:=i+1;
    end;
    for i:=1 to 50 do write(gg,z[i]);
    for i:=1 to n do readln(fff,P6ss[i],H6ss[i]);
    readln(fff,X6);
    readln(fff,T4,P4,T6,P6);
    readln(fff,DP3,DT3,DP4,DT4,DP5,DT5,DP6,DT6,DP7,DT7,DP23);
    for i:=0 to n do readln(fff,Nu34[i]);
    for i:=0 to n do readln(fff,Nu56[i]);
    for i:=0 to n do readln(fff,Nu78[i]);
    readln(fff,H7,T_3,P_3,H_3,T_4,P_4,H_4,T_5,P_5,H_5);

    for i:=1 to 102 do readln(f);
    for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
    T1:=val[1];
    P1:=val[2];
    H1:=val[5];
    S1:=val[6];
    for j:=1 to n do
    begin
    for i:=1 to 25 do readln(f);
    for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
    Tf[j]:=val[1];
    Pf[j]:=val[2];
    Hf[j]:=val[5];
    Sf[j]:=val[6];
    end;
    writeln(g);
    writeln(g,'1');
    writeln(g,'c');
    writeln(g,'6');
    writeln(g,P3+DP23);
    writeln(g,H1+(P3+DP23-P1)/0.8);
    writeln(g,'s');
    writeln(g,Pint1);
    writeln(g,H3-Nu34[n]*(H3-H6ss[n]));

```

```

writeln(g,'s');
writeln(g,P11);
writeln(g,H5-Nu56[0]*(H5-H5s));
writeln(g,'s');
for i:=1 to n-1 do
begin
writeln(g,P6ss[i]);
writeln(g,H5-Nu56[i]*(H5-H6ss[i]));
writeln(g,'s');
end;
writeln(g,P6ss[n]);
writeln(g,H3-Nu34[n]*(H3-H6ss[n]));
writeln(g,'x');
writeln(g);
writeln(g,'0');

for i:=1 to n do writeln(gggg,P6ss[i],H6ss[i]);
writeln(gggg,X6);
writeln(gggg,T4,P4,T6,P6);
writeln(gggg,DP3,DT3,DP4,DT4,DP5,DT5,DP6,DT6,DP7,DT7,DP23);
for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu34[i]);
for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu56[i]);
for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu78[i]);
writeln(gggg,H7,T_3,P_3,H_3,T_4,P_4,H_4,T_5,P_5,H_5);
for i:=1 to n do writeln(gggg,Tf[i],Hf[i]);
end
else
if X7s=0 then
begin
writeln(g);
writeln(g,'0');
writeln(ggg,'T7 est trop elev,e');
i:=1;
while not eoln(ff) do
begin
read(ff,z[i]);
i:=i+1;
end;
for i:=1 to 50 do write(gg,z[i]);
end
else
begin
k:=102;
i:=1;
while not eoln(ff) do
begin
read(ff,z[i]);
i:=i+1;
end;
for i:=1 to 50 do write(gg,z[i]);
for i:=1 to n do readln(fff,P8ss[i],H8ss[i]);
readln(fff,X8);
readln(fff,T4,P4,T6,P6,T8,P8);
readln(fff,DP3,DT3,DP4,DT4,DP5,DT5,DP6,DT6,DP7,DT7,DP23);
for i:=0 to n do readln(fff,Nu34[i]);
for i:=0 to n do readln(fff,Nu56[i]);
for i:=0 to n do readln(fff,Nu78[i]);
readln(fff,H9,T_3,P_3,H_3,T_4,P_4,H_4,T_5,P_5,H_5,T_6,P_6,H_6,T_7,P_7,H_7);

```

```

for i:=1 to 102 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
T1:=val[1];
P1:=val[2];
H1:=val[5];
S1:=val[6];
for j:=1 to n do
begin
for i:=1 to 25 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
Tf[j]:=val[1];
Pf[j]:=val[2];
Hf[j]:=val[5];
Sf[j]:=val[6];
end;
writeln(g);
writeln(g,'1');
writeln(g,'c');
writeln(g,'6');
writeln(g,P3+DP23);
writeln(g,H1+(P3+DP23-P1)/0.8);
writeln(g,'s');
writeln(g,Pint1);
writeln(g,H3-Nu34[n]*(H3-H8ss[n]));
writeln(g,'s');
writeln(g,Pint2);
writeln(g,H5-Nu56[n-2]*(H5-H8ss[n-2]));
writeln(g,'s');
writeln(g,PII);
writeln(g,H7-Nu78[0]*(H7-H7s));
writeln(g,'s');
for i:=1 to n-3 do
begin
writeln(g,P8ss[i]);
writeln(g,H7-Nu78[i]*(H7-H8ss[i]));
writeln(g,'s');
end;
writeln(g,P8ss[n-2]);
writeln(g,H5-Nu56[n-2]*(H5-H8ss[n-2]));
writeln(g,'s');
writeln(g,P8ss[n-1]);
writeln(g,H5-Nu56[n-1]*(H5-H8ss[n-1]));
writeln(g,'s');
writeln(g,P8ss[n]);
writeln(g,H3-Nu34[n]*(H3-H8ss[n]));
writeln(g,'x');
writeln(g);
writeln(g,'0');

for i:=1 to n do writeln(gggg,P8ss[i],H8ss[i]);
writeln(gggg,X8);
writeln(gggg,T4,P4,T6,P6,T8,P8);
writeln(gggg,DP3,DT3,DP4,DT4,DP5,DT5,DP6,DT6,DP7,DT7,DP23);
for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu34[i]);
for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu56[i]);
for i:=0 to n do writeln(gggg,Nu78[i]);
writeln(gggg,H9,T_3,P_3,H_3,T_4,P_4,H_4,T_5,P_5,H_5,T_6,P_6,H_6,T_7,P_7,H_7);
for i:=1 to n do writeln(gggg,Tf[i],Hf[i]);

```

end;

```
close(gggg);  
close(ggg);  
close(gg);  
close(g);  
close(fff);  
close(ff);  
close(f)
```

end.

PROGRAMME BIS8

```
program essai;
```

```
var
```

```
g,f,gg,ff,ggg,fff,gggg : text;  
val : array[1..7]of real;  
H4ss : array[1..12]of real;  
H6ss : array[1..12]of real;  
H8ss : array[1..12]of real;  
P4ss : array[1..12]of real;  
P6ss : array[1..12]of real;  
P8ss : array[1..12]of real;  
Hf : array[1..12]of real;  
H4r : array[1..12]of real;  
T4r : array[1..12]of real;  
H6r : array[1..12]of real;  
T6r : array[1..12]of real;  
H8r : array[1..12]of real;  
T8r : array[1..12]of real;  
Nu34 : array[0..12]of real;  
Nu56 : array[0..12]of real;  
Nu78 : array[0..12]of real;  
Y : array[1..12]of real;  
X : array[1..12]of real;  
Tf : array[1..12]of real;
```

```
z : array[1..50]of char;
```

```
ij,k,n : integer;
```

```
DT3,DT4,DT5,DT6,DT7,S2,v4,v6,v8,Q1,Q2,Q3 : real;
```

```
PI,PII,Pint1,Pint2,X3s,X5s,X7s,P3,P5,P7,v3,v5,v7,H3,H5,H7,S3,S5,S7,T3,T5,T7,H3s,H5s,H7s : real;
```

```
T4s,T6s,P4s,P6s,H4s,H6s,S4s,S6s,DH1,DH2,DH3,Dh,H4,H6,H8,H9,H1,P1,P2,Nutot,Pv_Pv,Pc,Cn,T2 : real;
```

```
DP3,DP4,DP45,DP5,DP6,DP67,DP7,T3s,T5s,T7s,X3st,X5st,DPn1,DP23,v1,v2,T_3,P4,T6,P6,T8,P8 : real;
```

```
P_3,H_3,P_4,T_4,H_4,P_5,T_5,H_5,P_6,T_6,H_6,P_7,T_7,H_7,v,H2,W,Q,Nu1,X4,X6,X8,T4,Puiss,Cp,T1 :  
real;
```

```
begin
```

```
assign(f,"");
```

```
reset(f);
```

```
assign(ff,'wal7a.dat');
```

```
reset(ff);
```

```
assign(fff,'wal7b.dat');
```

```
reset(fff);
```

```
assign(g,"");
```

```
rewrite(g);
```

```
assign(gg,'wal8a.dat');
```

```
rewrite(gg);
```

```
assign(ggg,'res.dat');
```

```
rewrite(ggg);
```

```
assign(gggg,'wal8b.dat');
```

```
rewrite(gggg);
```

```
readln(fff,n,PI,PII,Pint1,Pint2,X3s,X5s,X7s,H3s,H5s,H7s,P3,P5,P7,v3,v5,v7,H3,H5,H7,S3,S5,S7,T3,T5);
```

```
readln(fff,T7,DP3,DT3,DP4,DT4,DP45,DP5,DT5);
```

```
readln(fff,DP6,DT6,DP67,DP7,DT7,T3s,T5s,T7s);
```

```
readln(fff,T4s,T6s,P4s,P6s,H4s,H6s,S4s,S6s,X3st,X5st,DPn1,DP23,Puiss,Cp);
```

```

if X3st=0 then
begin
k:=102;
i:=1;
while not coln(ff) do
begin
read(ff,z[i]);
i:=i+1;
end;
for i:=1 to 50 do write(gg,z[i]);
for i:=1 to n do readln(fff,P4ss[i],H4ss[i]);
readln(fff,X4);
readln(fff,T4,P4);
readln(fff,DP3,DT3,DP4,DT4,DP5,DT5,DP6,DT6,DP7,DT7,DP23);
for i:=0 to n do readln(fff,Nu34[i]);
for i:=0 to n do readln(fff,Nu56[i]);
for i:=0 to n do readln(fff,Nu78[i]);
readln(fff,H5,T_3,P_3,H_3);
for i:=1 to n do readln(fff,Tf[i],Hf[i]);

for i:=1 to 102 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
T2:=val[1];
P2:=val[2];
H2:=val[5];
S2:=val[6];
for i:=1 to 25 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
v4:=val[3];
for j:=1 to n do
begin
for i:=1 to 25 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
T4r[j]:=val[1];
end;

H4:=H3-Nu34[0]*(H3-H3s);
for i:=1 to n do H4r[i]:=H3-Nu34[i]*(H3-H4ss[i]);
Y[1]:=1;
X[1]:=(Hf[1]-H5)/(H4r[1]-Hf[1]);
for i:=2 to n do
begin
Y[i]:=Y[i-1]+X[i-1];
X[i]:=Y[i]*(Hf[i]-Hf[i-1])/(H4r[i]-Hf[i]);
end;

W:=H3-H4;
for i:=1 to n do W:=W+X[i]*(H3-H4r[i]);
Q:=(Y[n]+X[n])*(H_3-H2);
Nu1:=W/Q;
Nutot:=0.945*0.92*0.911*Nu1;
Cn:=3600/Nutot;
Pv_:=Puiss*3600/(W*0.911);
Pv:=(Y[n]+X[n])*Pv_;
Pc:=(Q*Pv_)/(0.92*Cp);
writeln(ggg,'Installation comporte une surchauffe');

```

```

writeln(ggg,'T2=',T2:10:2);
writeln(ggg,'P(3)='P_3:10:5,chr(9),'T(3)='T_3:10:2);
writeln(ggg,'P3='P3:10:5,chr(9),'T3='T3:10:2);
writeln(ggg,'P11='P11:10:5);

writeln(ggg,'Pss[i],Tf[i],Tss[i]:');
for i:=1 to n do writeln(ggg,P4ss[i]:10:5,chr(9),Tf[i]:10:5,chr(9),T4r[i]:10:5);
writeln(ggg,'v3='v3:10:5);
writeln(ggg,'v4='v4:10:5);

writeln(ggg,'X4='X4:10:5);
writeln(ggg,'H3-H4='H3-H4:10:2);
writeln(ggg,'n='n);
writeln(ggg,'1+X1+...+Xn='Y[n]+X[n]:10:5);
writeln(ggg,'W='W:10:2);
writeln(ggg,'Q='Q:10:2);
writeln(ggg,'Nu1='Nu1:10:5);
writeln(ggg,'Nutot='Nutot:10:5);
writeln(ggg,'Puiss='Puiss:10:0);
writeln(ggg,'Cn(KJ/KWh)='Cn:10:2);

writeln(ggg,'m3(kg/s)='(Y[n]+X[n])*Pv_/3600:10:5);
writeln(ggg,'m3(T/h)='(Y[n]+X[n])*Pv_/1000:10:5);
writeln(ggg,'m3(m3/s)='(Y[n]+X[n])*Pv_*v3/3600:10:5);

writeln(ggg,'m4(kg/s)='Pv_/3600:10:5);
writeln(ggg,'m4(T/h)='Pv_/1000:10:5);
writeln(ggg,'m4(m3/s)='Pv_*v4/3600:10:5);

writeln(ggg,'mc(kg/s)='Pc/3600:10:5);

for i:=1 to n do writeln(g,T4r[i]:10:5);
end
else
if X5st=0 then
begin
k:=102;
i:=1;
while not eoln(ff) do
begin
read(ff,z[i]);
i:=i+1;
end;
for i:=1 to 50 do write(gg,z[i]);
for i:=1 to n do readln(fff,P6ss[i],H6ss[i]);
readln(fff,X6);
readln(fff,T4,P4,T6,P6);
readln(fff,DP3,DT3,DP4,DT4,DP5,DT5,DP6,DT6,DP7,DT7,DP23);
for i:=0 to n do readln(fff,Nu34[i]);
for i:=0 to n do readln(fff,Nu56[i]);
for i:=0 to n do readln(fff,Nu78[i]);
readln(fff,H7,T_3,P_3,H_3,T_4,P_4,H_4,T_5,P_5,H_5);
for i:=1 to n do readln(fff,Tf[i],Hf[i]);

for i:=1 to 102 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
T2:=val[1];
P2:=val[2];
H2:=val[5];

```

```

S2:=val[6];
for i:=1 to 25 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
v4:=val[3];
for i:=1 to 25 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
v6:=val[3];
for j:=1 to n do
begin
for i:=1 to 25 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
T6r[j]:=val[1];
end;

H6:=H5-Nu56[0]*(H5-H5s);
for i:=1 to n-1 do H6r[i]:=H5-Nu56[i]*(H5-H6ss[i]);
H6r[n]:=H3-Nu34[n]*(H3-H6ss[n]);
H4:=H6r[n];
Y[1]:=1;
X[1]:=(Hf[1]-H7)/(H6r[1]-Hf[1]);
for i:=2 to n do
begin
Y[i]:=Y[i-1]+X[i-1];
X[i]:=Y[i]*(Hf[i]-Hf[i-1])/(H6r[i]-Hf[i]);
end;

W:=(H3-H4+H5-H6)+X[n]*(H3-H4);
for i:=1 to n-1 do W:=W+X[i]*(H3-H4+H5-H6r[i]);
Q1:=(Y[n]+X[n])*(H_3-H2);
Q2:=Y[n]*(H_5-H_4);
Q:=(Y[n]+X[n])*(H_3-H2)+Y[n]*(H_5-H_4);
Nu1:=W/Q;
Nutot:=0.933*0.92*0.991*Nu1;
Cn:=3600/Nutot;
Pv_=(Puiss*3600)/(W*0.991);
Pv:=(Y[n]+X[n])*Pv_;
Pc:=(Q*Pv_)/(0.92*Cp);
writeln(ggg,'Installation comporte une resurchauffe');
writeln(ggg,'T2=',T2:10:2);
writeln(ggg,'P(3)=',P_3:10:5,chr(9),'T(3)=',T_3:10:2);
writeln(ggg,'P3=',P3:10:5,chr(9),'T3=',T3:10:2);
writeln(ggg,'P4=',P4:10:5,chr(9),'T4=',T4:10:2);
writeln(ggg,'P(4)=',P_4:10:5,chr(9),'T(4)=',T_4:10:2);
writeln(ggg,'P(5)=',P_5:10:5,chr(9),'T(5)=',T_5:10:2);
writeln(ggg,'P5=',P5:10:5,chr(9),'T5=',T5:10:2);
writeln(ggg,'PII=',PII:10:5);

writeln(ggg,'Pss[i],Tf[i],Tss[i]:');
for i:=1 to n do writeln(ggg,P6ss[i]:10:5,chr(9),Tf[i]:10:5,chr(9),T6r[i]:10:5);
writeln(ggg,'v3=',v3:10:5);
writeln(ggg,'v4=',v4:10:5);
writeln(ggg,'v6=',v6:10:5);

writeln(ggg,'X6=',X6:10:5);
writeln(ggg,'H3-H4=',H3-H4:10:2);
writeln(ggg,'H5-H6=',H5-H6:10:2);
writeln(ggg,'Dhtot=',H3-H4+H5-H6:10:2);
writeln(ggg,'n=',n);
writeln(ggg,'1+X1+...Xn=',Y[n]+X[n]:10:5);

```

```

writeln(ggg,'W=',W:10:2);
writeln(ggg,'Q1=',Q1:10:2);
writeln(ggg,'Q2=',Q2:10:2);
writeln(ggg,'Q=',Q:10:2);
writeln(ggg,'Nu1=',Nu1:10:5);
writeln(ggg,'Nutot=',Nutot:10:5);
writeln(ggg,'Puiss=',Puiss:10:0);
writeln(ggg,'Cn(KJ/KWh)=' ,Cn:10:2);

writeln(ggg,'m3(kg/s)=',(Y[n]+X[u])*Pv_/3600:10:5);
writeln(ggg,'m3(T/h)=',(Y[n]+X[n])*Pv_/1000:10:5);
writeln(ggg,'m3(m3/s)=',(Y[n]+X[n])*Pv_*v3/3600:10:5);

writeln(ggg,'m4(kg/s)=' ,Y[n]*Pv_/3600:10:5);
writeln(ggg,'m4(T/h)=' ,Y[n]*Pv_/1000:10:5);
writeln(ggg,'m4(m3/s)=' ,Y[n]*Pv_*v4/3600:10:5);

writeln(ggg,'m6(kg/s)=' ,Pv_/3600:10:5);
writeln(ggg,'m6(T/h)=' ,Pv_/1000:10:5);
writeln(ggg,'m6(m3/s)=' ,Pv_*v6/3600:10:5);

writeln(ggg,'mc(kg/s)=' ,Pc/3600:10:5);

for i:=1 to n do writeln(g,T6r[i]:10:5);

end
else
if X7s=0 then
begin
writeln(g);
writeln(g,'0');
writeln(ggg,'T7 est trop elev,e');
i:=1;
while not eoln(ff) do
begin
read(ff,z[i]);
i:=i+1;
end;
for i:=1 to 50 do write(gg,z[i]);
end
else
begin
k:=102;
i:=1;
while not eoln(ff) do
begin
read(ff,z[i]);
i:=i+1;
end;
for i:=1 to 50 do write(gg,z[i]);

for i:=1 to n do readln(fff,P8ss[i],H8ss[i]);
readln(fff,X8);
readln(fff,T4,P4,T6,P6,T8,P8);
readln(fff,DP3,DT3,DP4,DT4,DP5,DT5,DP6,DT6,DP7,DT7,DP23);
for i:=0 to n do readln(fff,Nu34[i]);

```

```

for i:=0 to n do readln(fff,Nu56[i]);
for i:=0 to n do readln(fff,Nu78[i]);
readln(fff,H9,T_3,P_3,H_3,T_4,P_4,H_4,T_5,P_5,H_5,T_6,P_6,H_6,T_7,P_7,H_7);
for i:=1 to n do readln(fff,Tf[i],Hf[i]);

```

```

for i:=1 to 102 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
T2:=val[1];
P2:=val[2];
H2:=val[5];
S2:=val[6];
for i:=1 to 25 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
v4:=val[3];
for i:=1 to 25 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
v6:=val[3];
for i:=1 to 25 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
v8:=val[3];
for j:=1 to n do
begin
for i:=1 to 25 do readln(f);
for i:=1 to 6 do read(f,val[i]);
T8r[j]:=val[1];
end;

```

```

H8:=H7-Nu78[0]*(H7-H7s);
for i:=1 to n-3 do H8r[i]:=H7-Nu78[i]*(H7-H8ss[i]);
H8r[n-2]:=H5-Nu56[n-2]*(H5-H8ss[n-2]);
H8r[n-1]:=H5-Nu56[n-1]*(H5-H8ss[n-1]);
H8r[n]:=H3-Nu34[n]*(H3-H8ss[n]);
H6:=H8r[n-2];
H4:=H8r[n];
Y[1]:=1;
X[1]:=(Hf[1]-H9)/(H8r[1]-Hf[1]);
for i:=2 to n do
begin
Y[i]:=Y[i-1]+X[i-1];
X[i]:=Y[i]*(Hf[i]-Hf[i-1])/(H8r[i]-Hf[i]);
end;

```

```

W:=(H3-H4+H5-H6+H7-H8)+X[n-2]*(H3-H4+H5-H8r[n-2])+X[n-1]*(H3-H4+H5-H8r[n-1])+X[n]*(H3-H8r[n]);
for i:=1 to n-3 do W:=W+X[i]*(H3-H4+H5-H6+H7-H8r[i]);
Q1:=(Y[n]+X[n])*(H_3-H2);
Q2:=Y[n]*(H_5-H_4);
Q3:=Y[n-2]*(H_7-H_6);
Q:=(Y[n]+X[n])*(H_3-H2)+Y[n]*(H_5-H_4)+Y[n-2]*(H_7-H_6);
Nu1:=W/Q;
Nutot:=0.933*0.92*0.991*Nu1;
Cn:=3600/Nutot;
Pv_:=(Puiss*3600)/(W*0.991);
Pv:=(Y[n]+X[n])*Pv_;
Pc:=(Q*Pv_)/(0.92*Cp);
writeln(ggg,'Installation comporte deux resurchauffes');

```

```

writeln(ggg,'T2=',T2:10:2);
writeln(ggg,'P(3)='P_3:10:5,chr(9),'T(3)='T_3:10:2);
writeln(ggg,'P3='P3:10:5,chr(9),'T3='T3:10:2);
writeln(ggg,'P4='P_4:10:5,chr(9),'T4='T4:10:2);
writeln(ggg,'P(4)='P_4:10:5,chr(9),'T(4)='T_4:10:2);
writeln(ggg,'P5='P_5:10:5,chr(9),'T(5)='T_5:10:2);
writeln(ggg,'P5='P5:10:5,chr(9),'T5='T5:10:2);
writeln(ggg,'P6='P_6:10:5,chr(9),'T6='T6:10:2);
writeln(ggg,'P(6)='P_6:10:5,chr(9),'T(6)='T_6:10:2);
writeln(ggg,'P(7)='P_7:10:5,chr(9),'T(7)='T_7:10:2);
writeln(ggg,'P7='P7:10:5,chr(9),'T7='T7:10:2);
writeln(ggg,'PII='PII:10:5);

writeln(ggg,'Pss[i],Tf[i],Tss[i]:');
for i:=1 to n do writeln(ggg,P8ss[i]:10:5,chr(9),Tf[i]:10:5,chr(9),T8r[i]:10:5);
writeln(ggg,'v3='v3:10:5);
writeln(ggg,'v4='v4:10:5);
writeln(ggg,'v6='v6:10:5);
writeln(ggg,'v8='v8:10:5);

writeln(ggg,'X8='X8:10:5);
writeln(ggg,'H3-H4='H3-H4:10:2);
writeln(ggg,'H5-H6='H5-H6:10:2);
writeln(ggg,'H7-H8='H7-H8:10:2);
writeln(ggg,'DHtot='H3-H4+H5-H6+H7-H8:10:2);
writeln(ggg,'n='n);
writeln(ggg,'1+X1+...Xn='Y[n]+X[n]:10:5);
writeln(ggg,'W='W:10:2);
writeln(ggg,'Q1='Q1:10:2);
writeln(ggg,'Q2='Q2:10:2);
writeln(ggg,'Q3='Q3:10:2);
writeln(ggg,'Q='Q:10:2);
writeln(ggg,'Nu1='Nu1:10:5);
writeln(ggg,'Nutot='Nutot:10:5);
writeln(ggg,'Puiss='Puiss:10:0);
writeln(ggg,'Cn(KJ/KWh)='Cn:10:2);

writeln(ggg,'m3(kg/s)='(Y[n]+X[n])*Pv_/3600:10:5);
writeln(ggg,'m3(T/h)='(Y[n]+X[n])*Pv_/1000:10:5);
writeln(ggg,'m3(m3/s)='(Y[n]+X[n])*Pv_*v3/3600:10:5);

writeln(ggg,'m4(kg/s)='Y[n]*Pv_/3600:10:5);
writeln(ggg,'m4(T/h)='Y[n]*Pv_/1000:10:5);
writeln(ggg,'m4(m3/s)='Y[n]*Pv_*v4/3600:10:5);

writeln(ggg,'m6(kg/s)='Y[n-2]*Pv_/3600:10:5);
writeln(ggg,'m6(T/h)='Y[n-2]*Pv_/1000:10:5);
writeln(ggg,'m6(m3/s)='Y[n-2]*Pv_*v6/3600:10:5);

writeln(ggg,'m8(kg/s)='Pv_/3600:10:5);
writeln(ggg,'m8(T/h)='Pv_/1000:10:5);
writeln(ggg,'m8(m3/s)='Pv_*v8/3600:10:5);

writeln(ggg,'mc(kg/s)='Pc/3600:10:5);

for i:=1 to n do writeln(g,T8r[i]:10:5);

end;

```

```
close(gggg);  
close(ggg);  
close(gg);  
close(g);  
close(ff);  
close(ff);  
close(f)
```

end.