

MEC1210 - THERMODYNAMIQUE
PROJET

CENTRALE AU CHARBON GENERAL GAVIN

RENCONTRE # 4
CYCLE RANKINE
AVEC IRRÉVERSIBILITÉS
ET RÉGÉNÉRATION

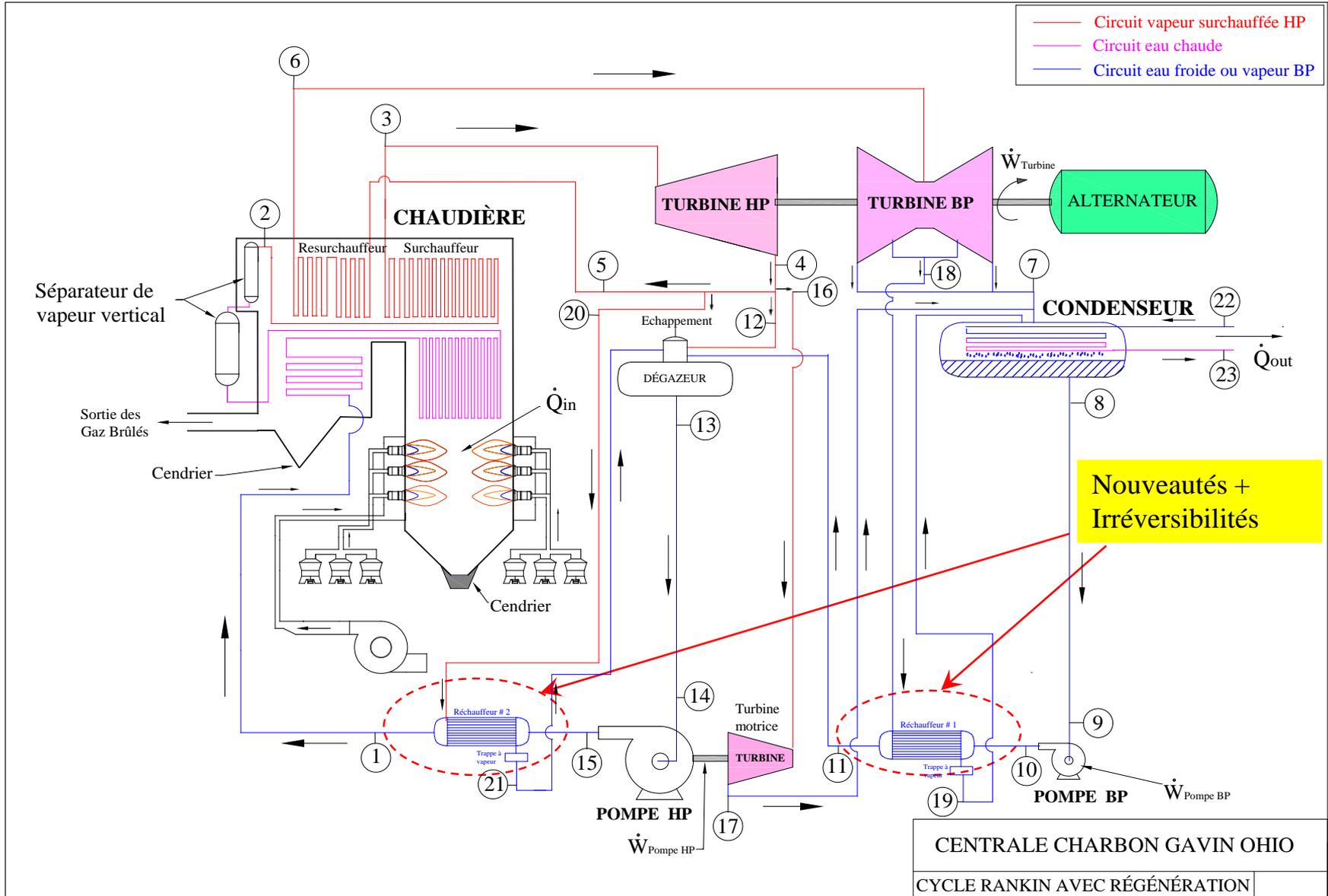
PROCÉDURE DE REMISE DU TRAVAIL

- 1) Il est demandé aux étudiants de déposer le programme EES dans le site Moodle avant la prochaine rencontre du projet.
- 2) On vous demande de nommer le fichier contenant le programme EES en utilisant le numéro matricule des 2 étudiants de l'équipe et en les séparant par un tiret (le plus petit numéro en premier).

Exemple : 2222222-3333333.EES

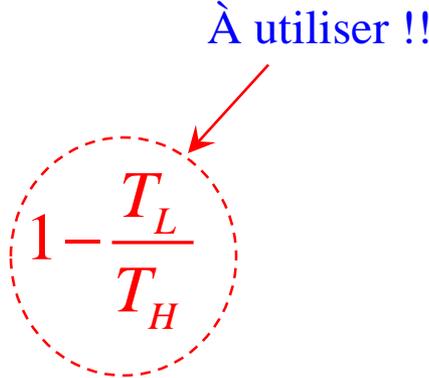
- 3) Vous devez déposer un seul fichier par équipe de 2 étudiants.
- 4) Pour les étudiants qui n'auront pas fait cette tâche, ils se verront retirer 1 point sur la note globale du projet (20 points).
- 5) Assurez vous que le programme EES fonctionne correctement (permette le calcul)
- 6) Vérifiez les dates et heures limites du dépôt !!

CYCLE RANKINE AVEC IRRÉVERSIBILITÉS ET RÉGÉNÉRATION



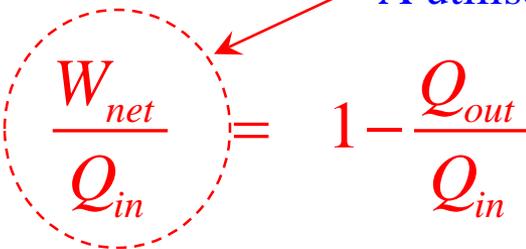
NOTION DE RENDEMENT THERMIQUE

Rendement du cycle de Carnot :

$$\eta_{th,Ca} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$


À utiliser !!

Rendement du cycle Rankine :

$$\eta_{th,Ra} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$


À utiliser !!

Bilan énergétique des différentes composantes :

Débit d'énergie entrante = Débit d'énergie sortante

$$\left(\sum \dot{m} \cdot h \right)_{entrée} = \left(\sum \dot{m} \cdot h \right)_{sortie}$$

DÉFINITION DU RENDEMENT ISENTROPIQUE

Exemple : Rendement de la turbine Haute Pression (figure précédente)

$$\eta_{\text{THP}} = \frac{\text{Travail réel}}{\text{Travail isentropique}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{s4}}$$

h_4 : enthalpie réelle de la vapeur au point [4]

-----> Inconnue ?

h_{s4} : enthalpie au point [4] pour une évolution isentropique

-----> Calculée !

ATTENTION : Pour la turbine Basse Pression, il y a deux sections qui doivent être traitées comme deux turbines.

CYCLE RANKINE AVEC RÉGÉNÉRATION :

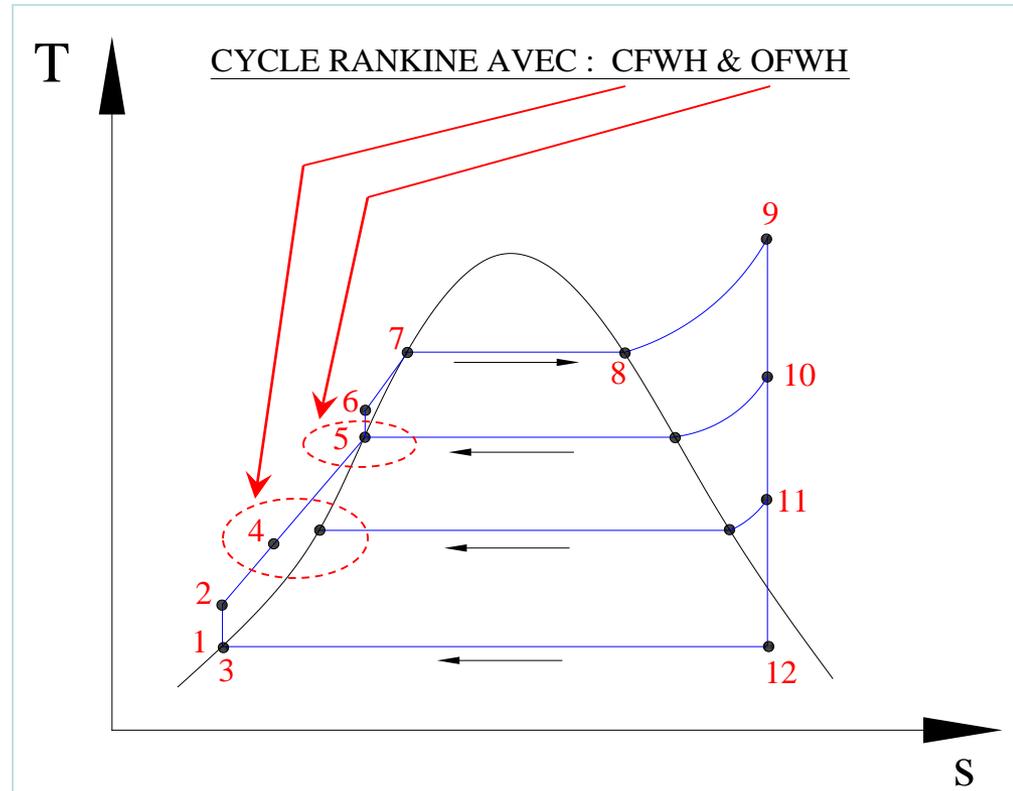
COMMENT AUGMENTER LE RENDEMENT DU CYCLE ?

Autre façon d'augmenter le rendement du cycle Rankine :

Augmenter la température moyenne de l'eau d'alimentation au générateur de vapeur !

Entrée de l'eau dans le générateur de vapeur : au point 6

Comment augmenter la T de ce points puisque qu'il n'est pas dans le générateur ??



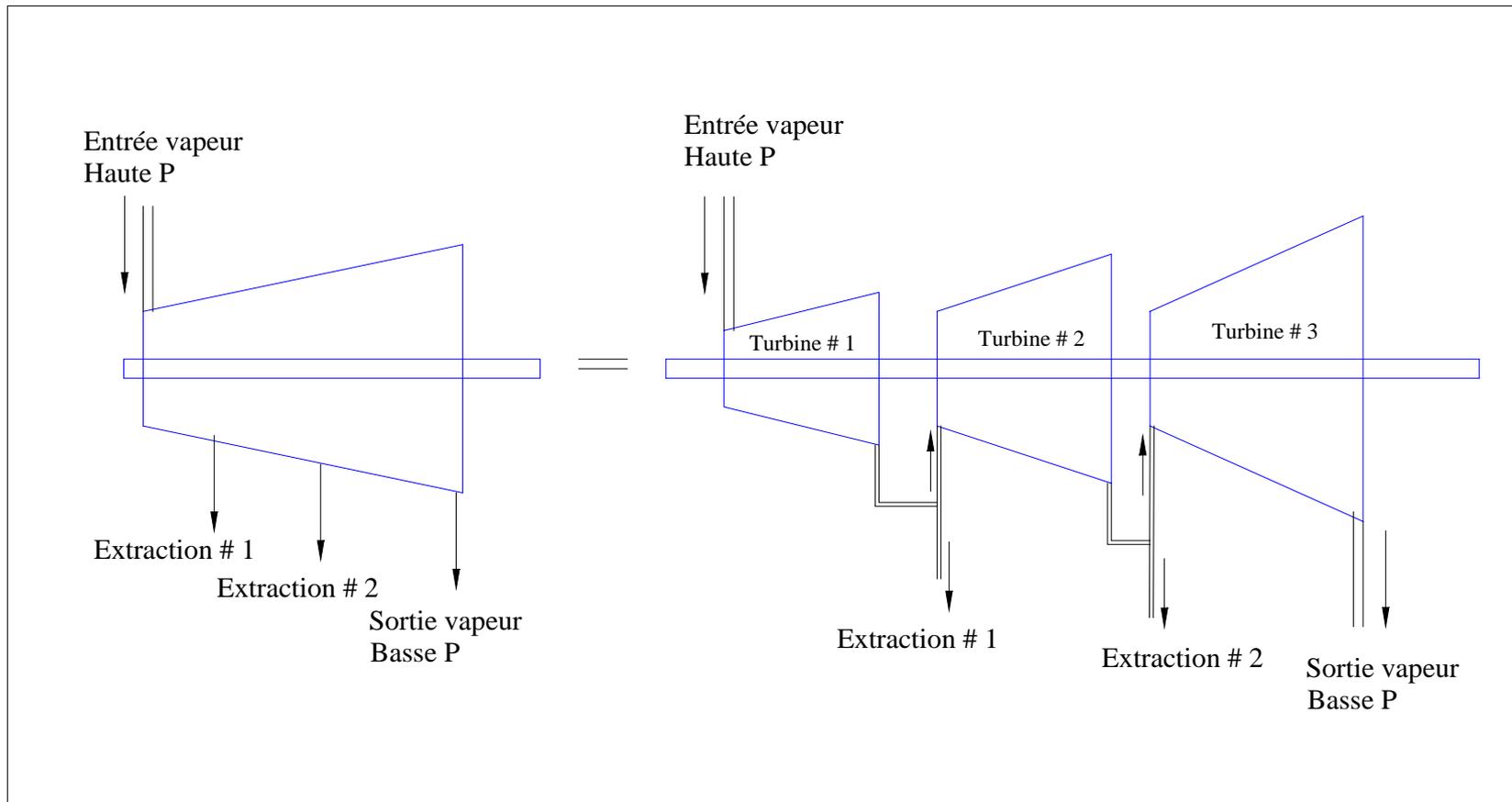
Ajout d'un ou de plusieurs échangeurs sans contact -----> SOUTIRAGE

Centrale nucléaire Gentilly : 5 échangeurs

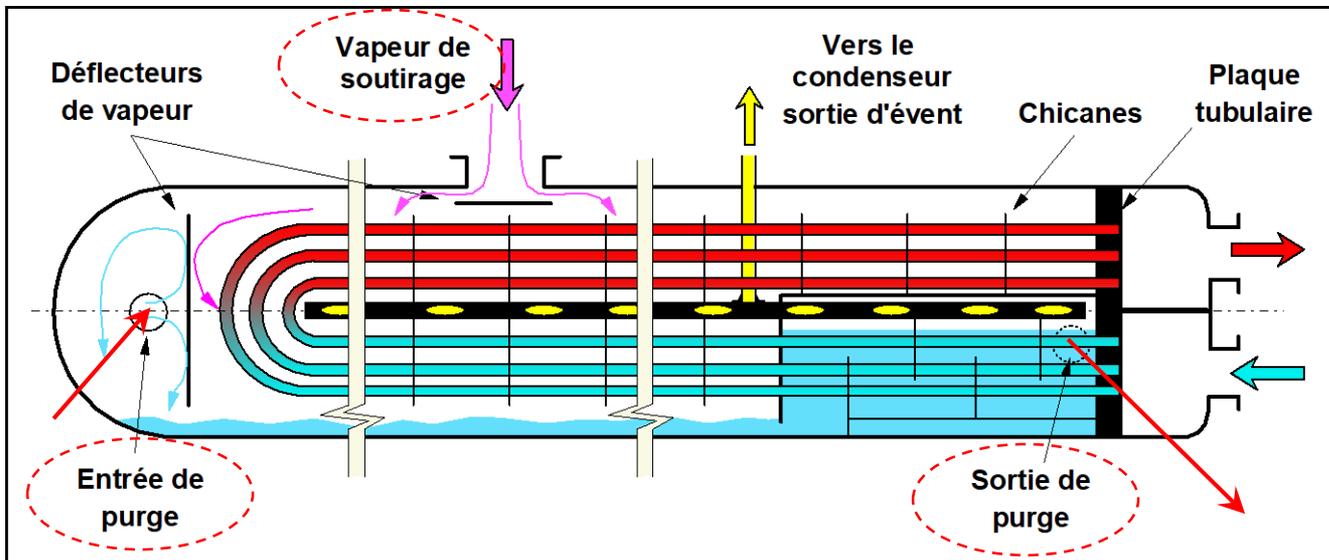
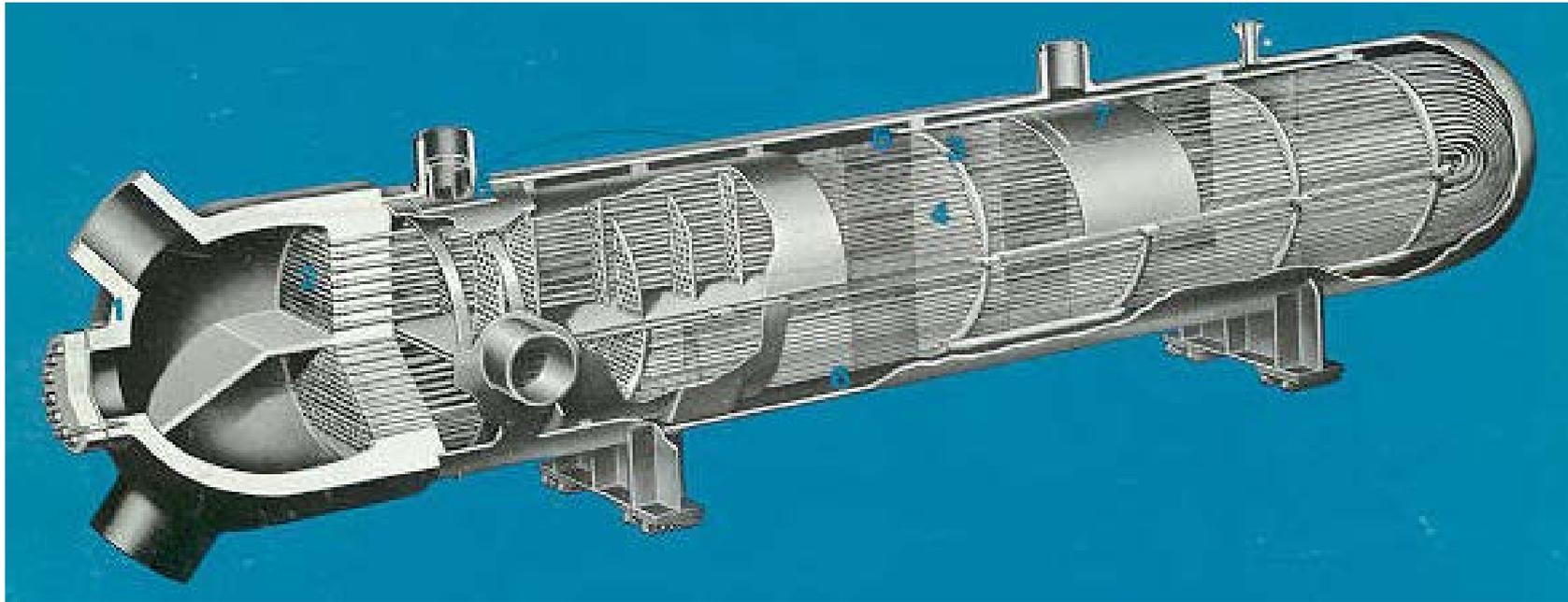
Centrale au charbon Général Gavin : 7 échangeurs

SOUTIRAGE DE LA VAPEUR

- Une turbine avec 2 soutirages et une sortie de vapeur basse pression :
Équivalent à **3 turbines** fonctionnant à 3 niveaux de pression d'entrée différents
- Donc : doit être traitée en **3 parties** différentes ayant un débit massique différent



RÉCHAUFFEUR SANS CONTACT (Close Feed Water Heater)



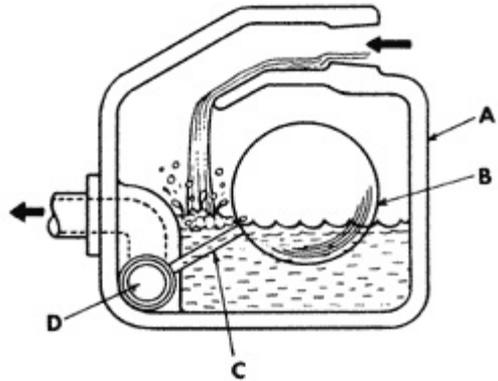
FLUIDES :

Coque -----> Vapeur

Tubes -----> Eau

TRAPPE À VAPEUR

Modèle archaïque

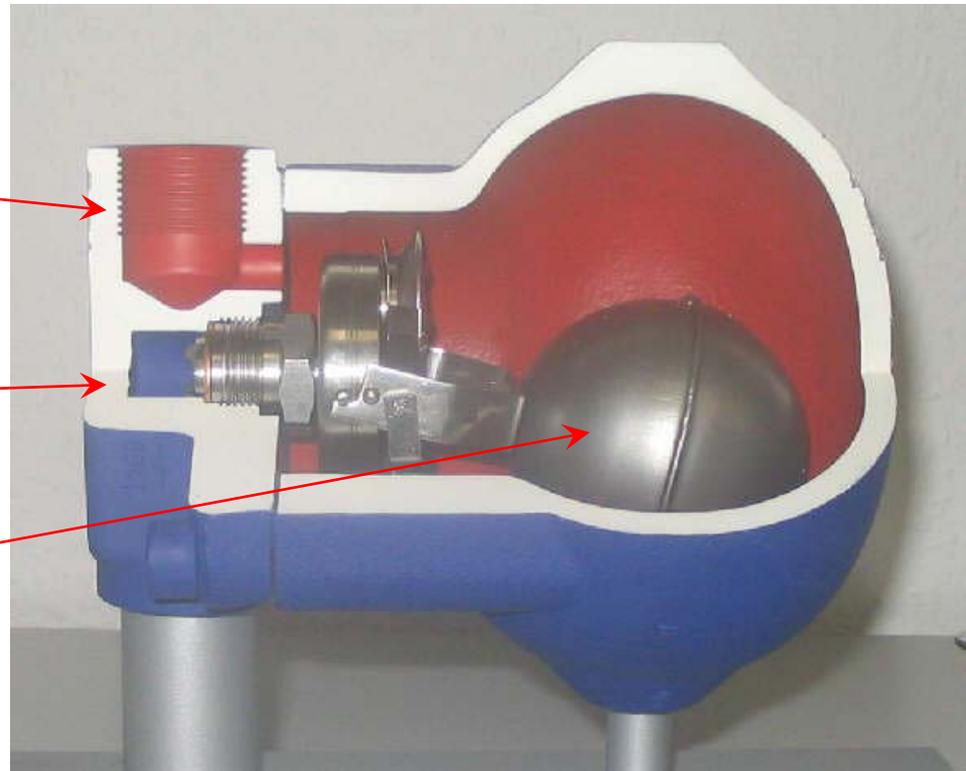


Modèle moderne

Entrée vapeur

Sortie liquide

Valve papillon



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Réchauffeur sans mélange

- 1) Comme pour le système avec contact, une faible portion de la vapeur est soutirée de la turbine après une détente partielle
- 2) Cette vapeur est introduite dans le réchauffeur **sans mélange**
- 3) Le **reste de la vapeur** termine sa détente dans la turbine et passe par le condenseur pour devenir liquide
- 4) Ce **condensat** est pompé dans le réchauffeur où il est **réchauffé** par la vapeur soutirée à travers les parois de l'échangeur
- 5) Ce système permet d'avoir des pressions différentes entre la zone vapeur et la zone liquide
- 6) Une **autre pompe** est nécessaire pour remonter le niveau de pression au niveau désiré
- 7) Ce système nécessite l'usage de trappes à vapeur (ou purgeur) à la sortie de chaque échangeur afin d'éviter de perdre de la vapeur . Conditions du fluide à la sortie des 2 trappes à vapeur -----> **Liquide saturé**

TRAVAIL DEMANDÉ APRÈS LA 4^e RENCONTRE

Tableau des données du cycle Rankine avec irréversibilités pour les pompes et les turbines.

POINT	NOM	ÉTAT	DÉBIT	T	P*	TITRE
			(kg / s)	(°C)	(kPa)	(-)
1	Sortie de la pompe HP	Liquide comprimé	1234.0			
2	Sortie du séparateur de vapeur	Fluide supercritique		374.1	27500	
3	Sortie du surchauffeur	Vapeur surchauffée		543.1	26500	
4	Sortie de la turbine HP	À déterminer			5000	
5	Entrée au resurchauffeur	À déterminer				
6	Entrée turbine BP	Vapeur surchauffée		538.0	4500	
7	Sortie de la turbine BP	Vapeur humide			10	
8	Sortie du condenseur	Liquide saturé			10	0
9	Entrée de la pompe BP	Liquide comprimé				
10	Sortie de la pompe BP	Liquide comprimé			800	
11	Sortie du réchauffeur # 1	Liquide				
12	Vapeur alimentée au Dégazeur	Vapeur	71.0			
13	Sortie du dégazeur	À déterminer				
14	Entrée de la pompe HP	Liquide				
15	Sortie de la pompe HP	Liquide comprimé			30000	
16	Entrée turbine motrice pompe HP	Vapeur	54.0			
17	Sortie turbine motrice pompe HP	Vapeur humide			10	
18	Entrée vapeur réchauffeur # 1	À déterminer	108.0		250	
19	Sortie condensat réchauffeur # 1	Liquide saturé				0
20	Entrée vapeur réchauffeur # 2	Vapeur	106.0			
21	Sortie condensat réchauffeur # 2	Liquide saturé				0
22	Entrée eau de refroidissement	Liquide comprimé	45500.0	15.0	200	
23	Sortie eau de refroidissement	Liquide comprimé		26.0	110	

* Pressions absolues

NOTES IMPORTANTES :

- Toutes les pressions sont en valeur **absolue**
- Pertes de pression du liquide dans les Réchauffeurs = 75 kPa
- Rendement de la pompe # 1 Basse Pression = 86 %
- Rendement de la pompe # 2 Haute Pression = 88 %
- Rendement de la turbine Haute Pression = 89 %
- Rendement de la turbine Basse Pression – section-1 = 88 %
- Rendement de la turbine Basse Pression – section-2 = 85 %
- Rendement de la turbine motrice de la Pompe HP = 86 %
- Rendement de l'alternateur = 97 %
- Hauteur séparant le condenseur de la pompe BP : $Z_1 = 20 \text{ m}$
- Hauteur séparant le dégazeur de la pompe HP : $Z_2 = 25 \text{ m}$

NOUVEAUX ÉLÉMENTS DU CYCLE :

Les turbines et les pompes sont des appareils réels

4 **Extractions** de la vapeur des turbines

2 **Réchauffeurs** sans contact (CFWH)

2 **Trappes** à vapeur à la sortie des réchauffeurs

Particularités du cycle Rankine avec Régénération et irréversibilités :

- Les deux pompes et les trois turbines sont des appareils (quasi-adiabatiques) réels dont le rendement isentropique est $< 100 \%$
- La perte de chaleur du dégazeur et des réchauffeurs vers l'extérieur est négligeable
- Du fait de l'extraction de la vapeur avant la fin de l'expansion dans la turbine BP, celle-ci doit être traitée en deux parties distinctes
- Il est nécessaire de faire un bilan d'énergie sur le Dégazeur pour pouvoir déterminer les conditions au point [13]
- Il est nécessaire de faire un bilan d'énergie sur les deux Réchauffeurs pour déterminer les conditions au point [1] et au point [11]
- Les conditions aux points [19] et [21] à la sortie des trappes à vapeur correspondent à celles de liquide saturé aux pressions aux points [7] et [11], respectivement.
- La pression à la sortie du Dégazeur (point [13]) est égale à celle du point [11]
- Une perte de pression de 75 kPa est imposée au liquide qui passe dans les Réchauffeurs (par exemple, entre les points [10] et [11]) dont les pertes de chaleur à l'environnement sont négligeables.
- La pression en amont des pompes est créée par une colonne d'eau (Z_1 et Z_2)

DÉTAIL DU TRAVAIL À FAIRE APRÈS LA RENCONTRE # 4

À partir des paramètres thermodynamiques, principalement la température, l'enthalpie et l'entropie à chaque point, **vous devez calculer** :

Tableau paramétrique :

Faire varier la température de la vapeur à l'entrée de la turbine Haute Pression (T[3])
500 - 520 - 540 - 560 - 580 °C

Utiliser l'instruction suivante dans votre programme EES :

```
$IFNOT ParametricTable
    TC[3] = Lookup('Données', 3, 'T')
$ENDIF
```

Tracer un graphique de la puissance de la turbine Haute Pression et du rendement Rankine du cycle en fonction de ce paramètre.

Calculer les paramètres suivants :

- Les caractéristiques thermodynamiques en chaque point du cycle (T – P – h – s – x)
- La puissance utilisée par les 2 pompes (HP et BP) : **W_dot_Pompe** (kW)
- La puissance brute des 2 turbines (HP et BP) : **W_dot_Turbine** (kW)
- La puissance nette du cycle Rankine (puissance arbre génératrice moins puissance Pompe BP) : **W_dot_Rankine** (kW)
- La puissance électrique produite par l'alternateur (en utilisant W_dot_Rankine comme input mécanique à l'alternateur) : **W_dot_Électrique** (kW)

(suite sur diapositive suivante)

- Le rapport de puissance utilisée par les 2 pompes (HP et BP) sur la puissance produite par les 2 turbines (HP et BP): **Rapport_Pompe_Turbine** (%)
- Le bilan énergétique du condenseur : **BILAN_Condenseur** (% de l'énergie perdue par la vapeur dans le condenseur)
- Le bilan énergétique de la Pompe HP Vs la turbine motrice : **BILAN_PompeHP** (puissance turbine motrice – puissance pompe HP, en % de la puissance turbine motrice)
- La chaleur fournie à la vapeur par la chaudière : **Q_dot_Chaudière** (kW)
- Le rendement du cycle Rankine avec irréversibilités : **eta_Rankine** (%)
- Le rendement thermique du cycle de Carnot : **eta_Carnot** (%)

QUELQUES SITES WEB PRÉSENTANT DES ANIMATIONS SUR
LES TURBINES À VAPEUR ET DES TURBINES À GAZ

<http://www.youtube.com/watch?v=ad7PWri0LA4&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=VbFFxtdLdxk&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=SKogeInftQE&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=w0ChUeHKg7U&feature=related>