

MEC1210 - THERMODYNAMIQUE
PROJET

CENTRALE AU CHARBON GENERAL GAVIN

RENCONTRE # 5

CYCLE RANKINE COMPLET

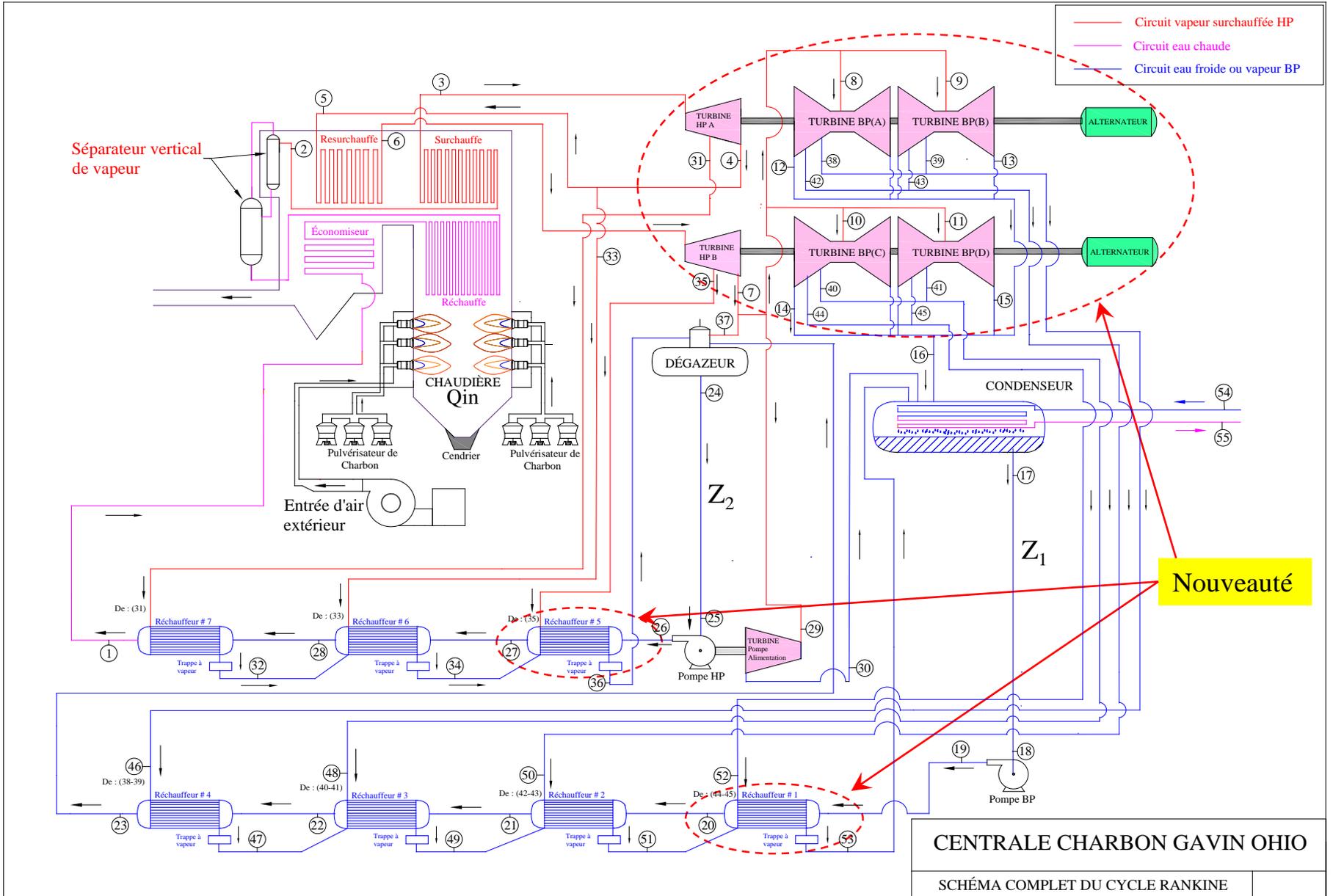
PROCÉDURE DE REMISE DU TRAVAIL

- 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 !!

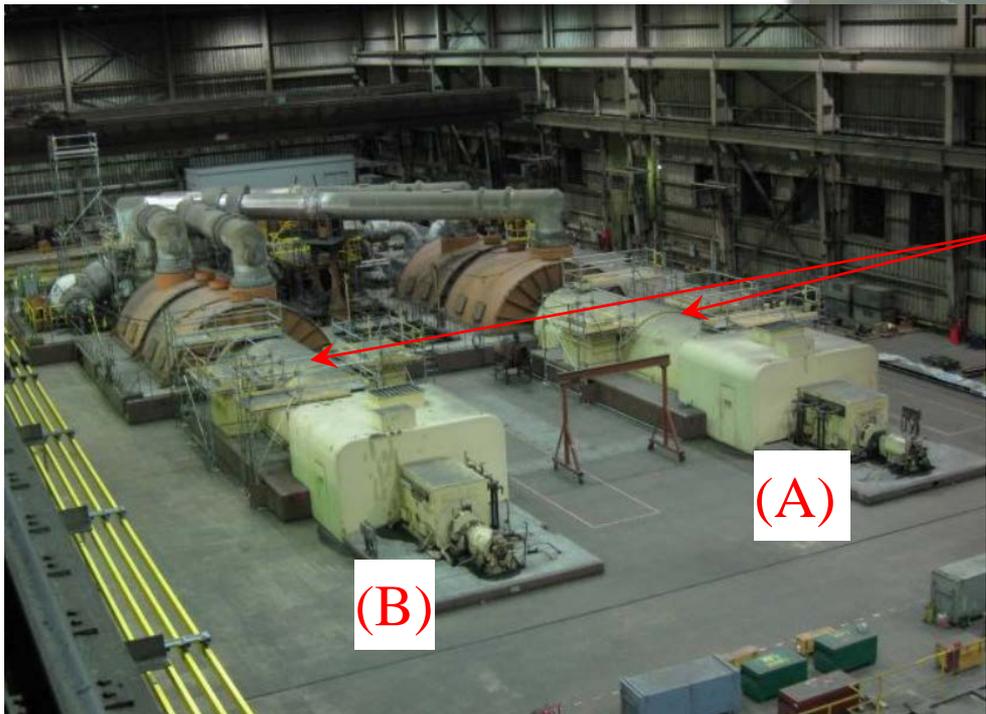
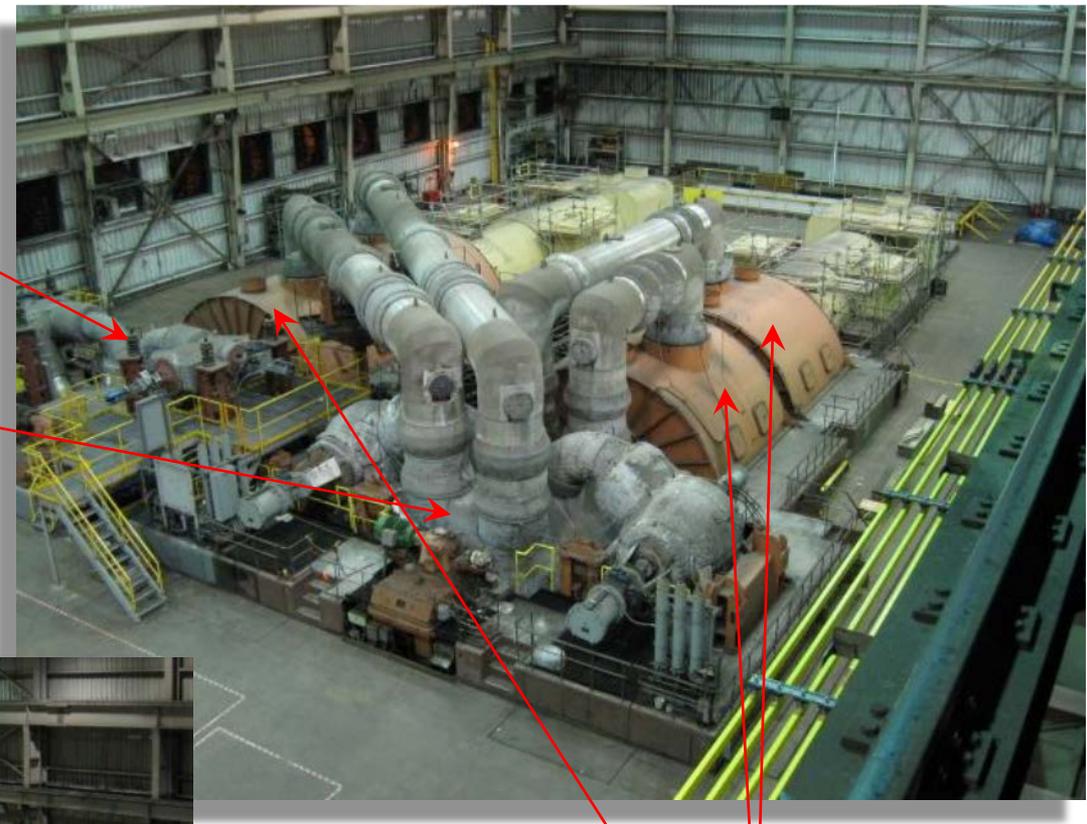
CYCLE RANKINE COMPLET



TURBINE À VAPEUR

Turbines Haute Pression (A)

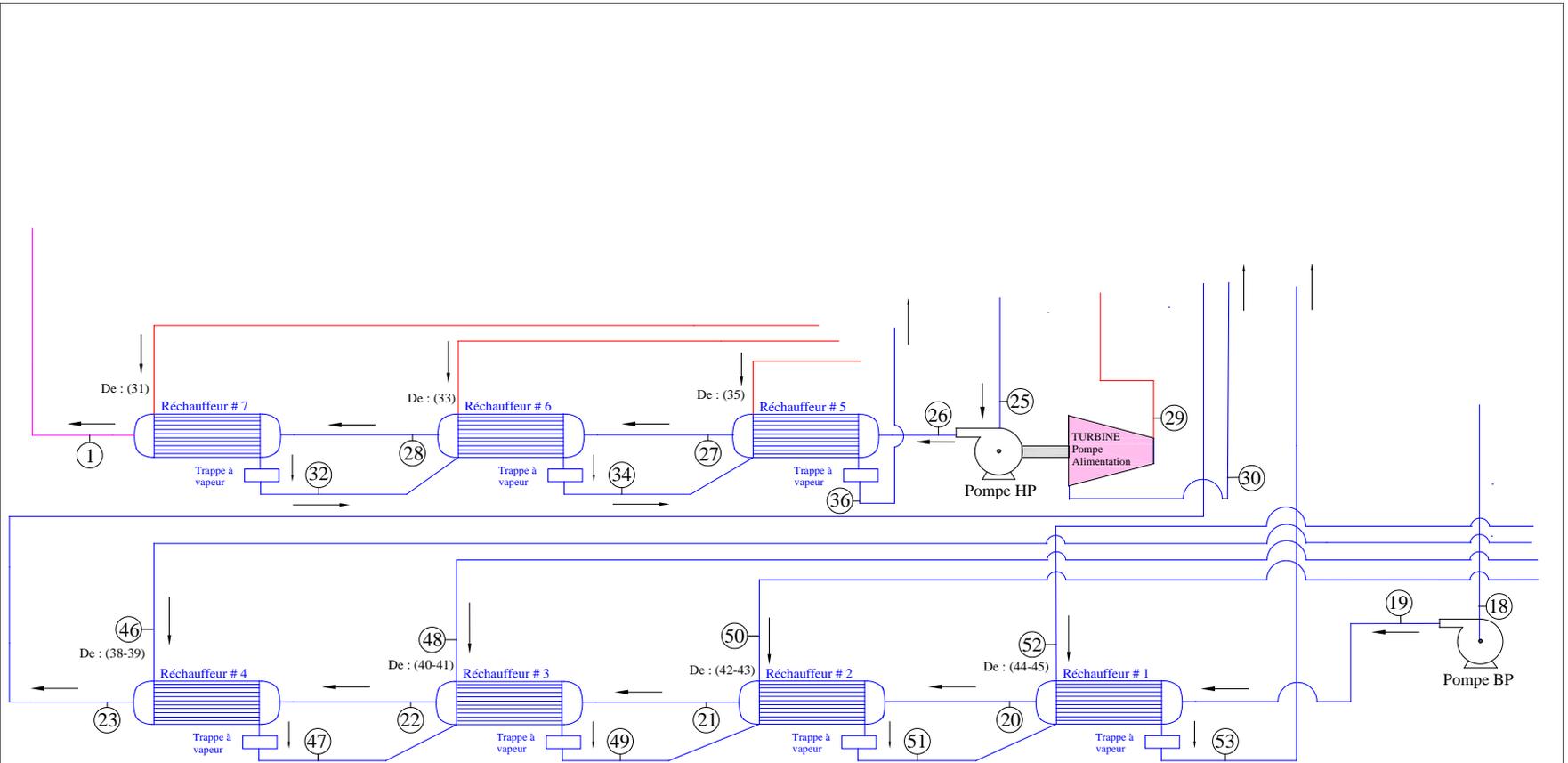
Turbines Haute Pression (B)



Alternateur

Turbines Basse Pression

CYCLE RANKINE COMPLET : ZONE DES RÉCHAUFFEURS



CENTRALE CHARBON GAVIN OHIO

SCHEMA CYCLE RANKINE : RÉCHAUFFEURS

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

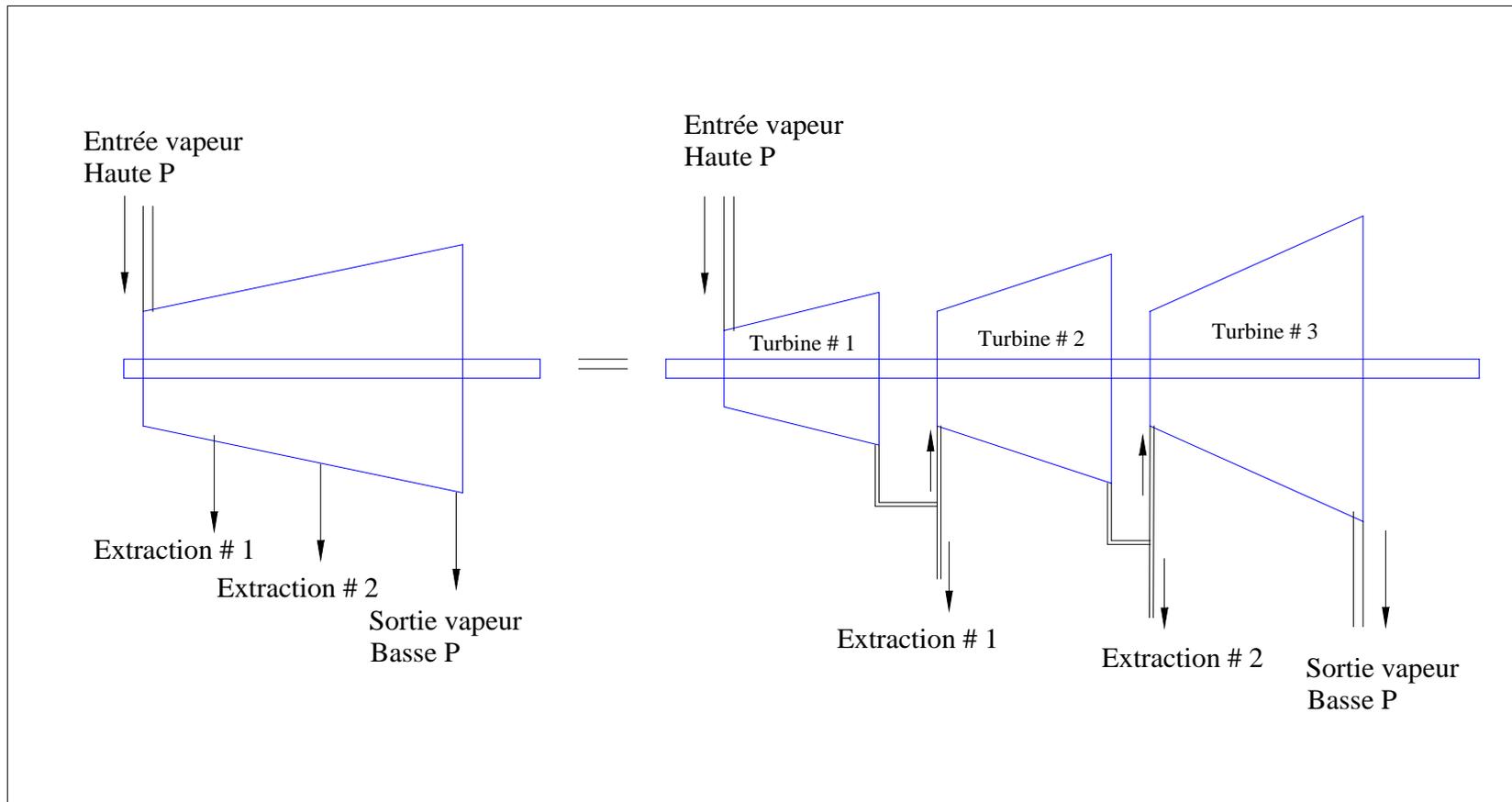
-----> Calculée !

ATTENTION : Pour chaque Turbine Basse Pression, il y a 3 sections qui doivent être traitées comme 3 Turbines différentes.

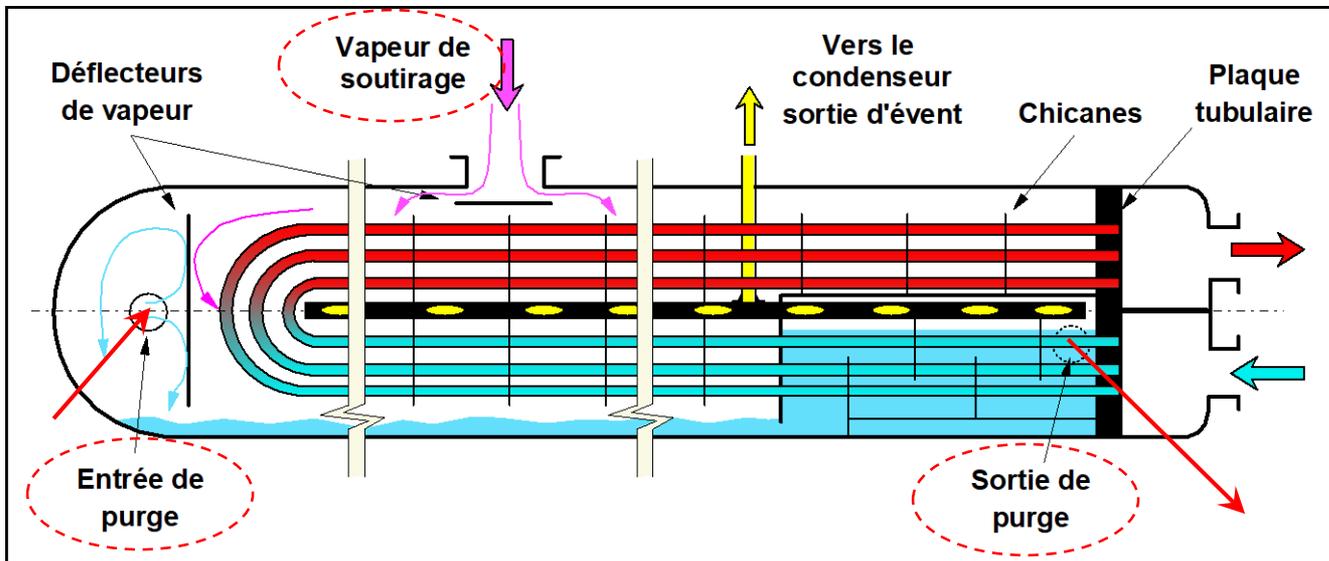
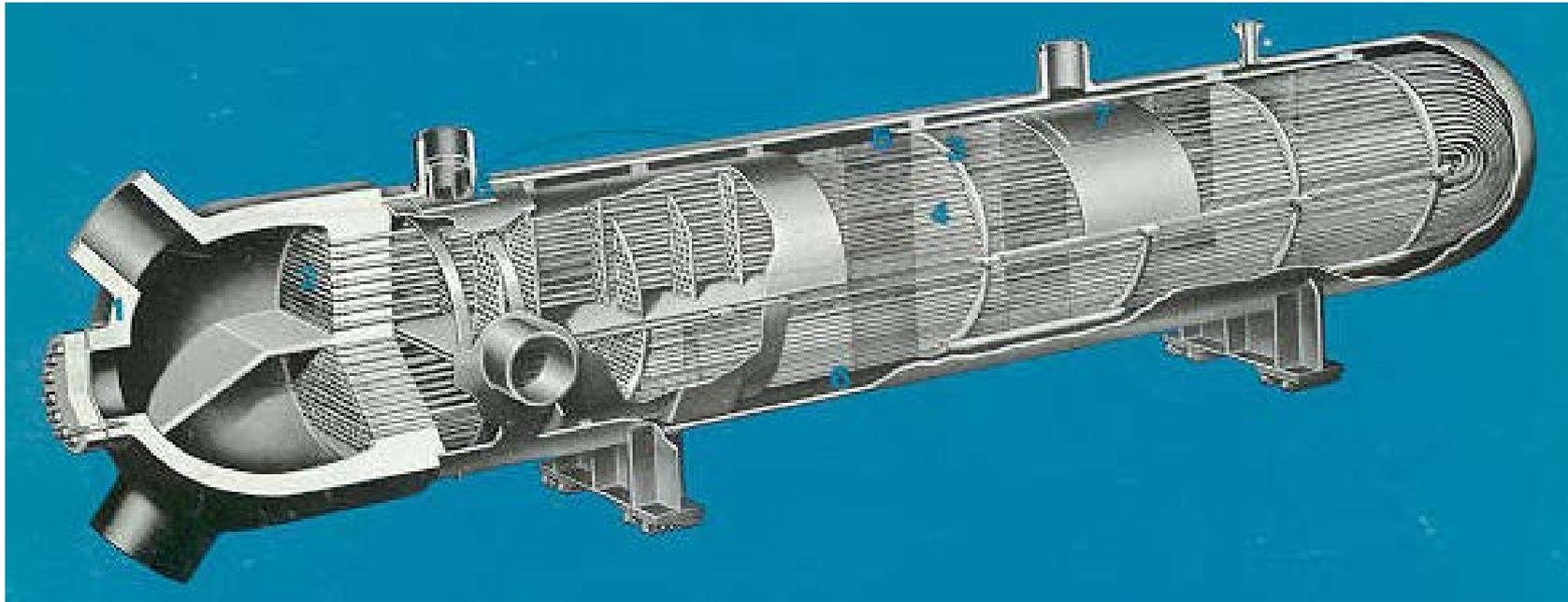
Pour chaque Turbines Haute Pression, il y a 2 sections qui doivent être traitées comme 2 Turbines différentes.

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)



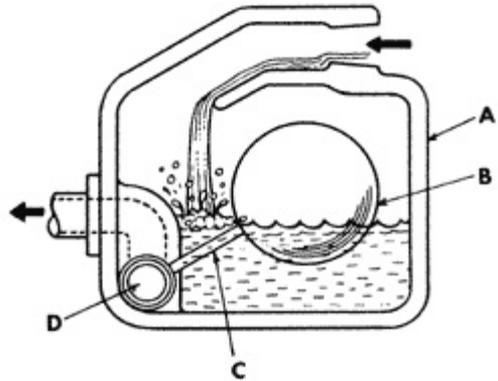
FLUIDES :

Coque -----> Vapeur

Tubes -----> Eau

TRAPPE À VAPEUR

Modèle archaïque

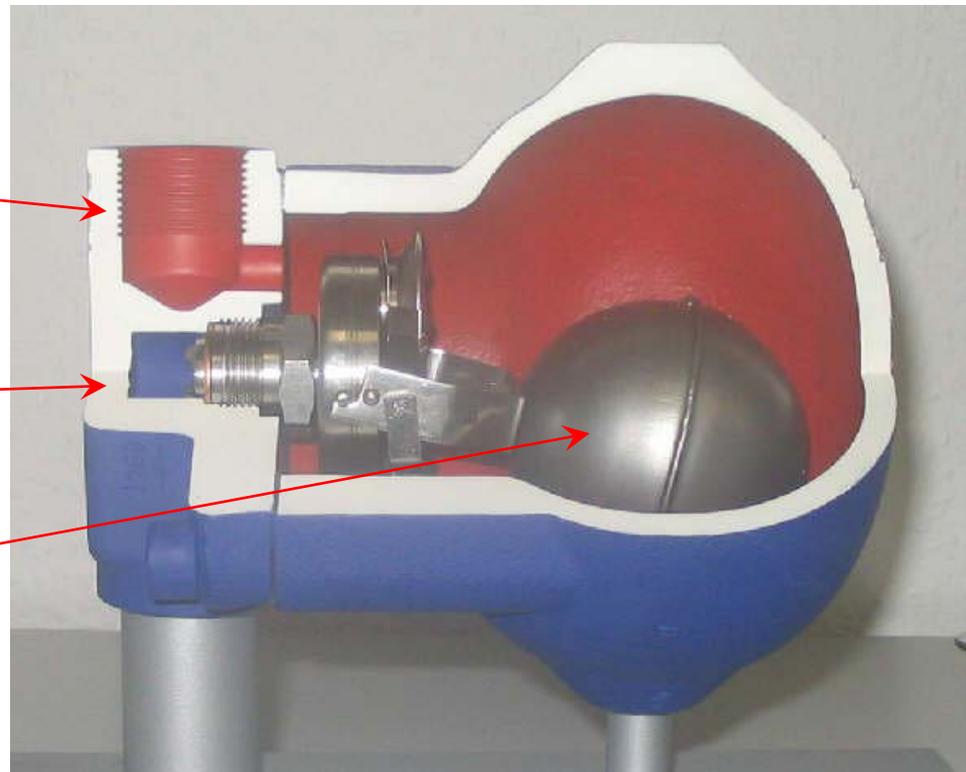


Modèle moderne

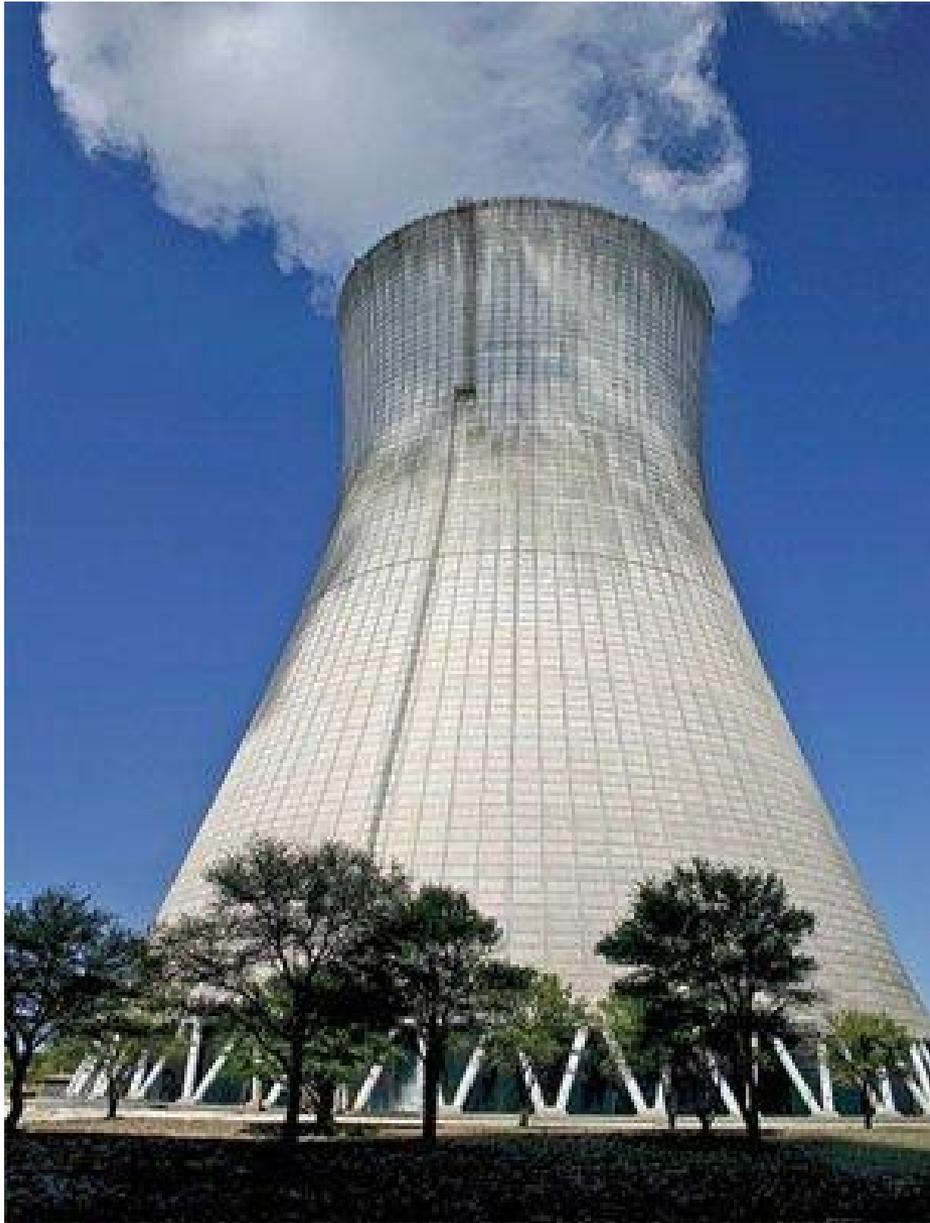
Entrée vapeur

Sortie liquide

Valve papillon



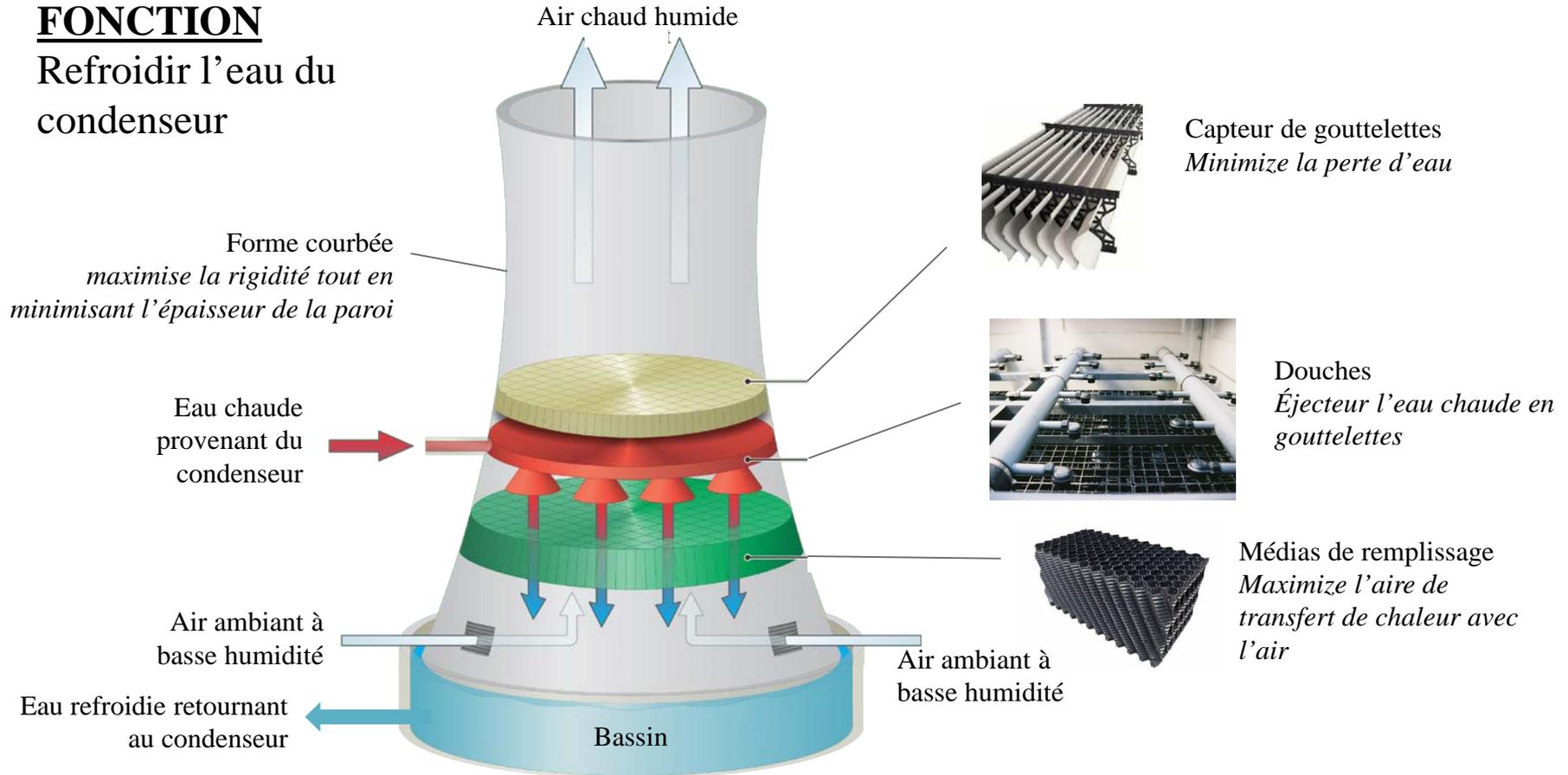
TOUR DE REFROIDISSEMENT : CONDENSEUR



Tour de refroidissement à
convection naturelle

FONCTION

Refroidir l'eau du condenseur



Principe de fonctionnement :

- De l'air ambiant à basse humidité entre par le bas de la tour et traverse un filet d'eau chaude (provenant du condenseur) qui coule en sens inverse.
- Ceci qui entraîne le chauffage de l'air **et** l'évaporation d'une petite partie de l'eau pour saturer l'air d'humidité. La chaleur nécessaire à la vaporisation est aussi extraite de l'eau liquide. Ces deux processus refroidissent l'eau, qui tombe dans le bassin et revient au condenseur.
- La masse volumique de l'air diminue avec l'augmentation de température et d'humidité, le faisant monter et entraîner la suction d'air ambiant au bas de la tour, continuant le processus.

TRAVAIL DEMANDÉ APRÈS LA 5^e RENCONTRE (suite)

Tableau des **rendements** pour les différents équipements :

ÉQUIPEMENT	RENDEMENT
Pompe Haute Pression	0.89
Pompe Basse Pression	0.87
Turbine Haute Pression (A) section-1	0.90
Turbine Haute Pression (A) section-2	0.89
Turbine Haute Pression (B) section-1	0.89
Turbine Haute Pression (B) section-2	0.88
Turbine Basse Pression (A) section-1	0.88
Turbine Basse Pression (B) section-1	0.88
Turbine Basse Pression (C) section-1	0.88
Turbine Basse Pression (D) section-1	0.88
Turbine Basse Pression (A) section-2	0.87
Turbine Basse Pression (B) section-2	0.87
Turbine Basse Pression (C) section-2	0.87
Turbine Basse Pression (D) section-2	0.87
Turbine Basse Pression (A) section-3	0.87
Turbine Basse Pression (B) section-3	0.87
Turbine Basse Pression (C) section-3	0.87
Turbine Basse Pression (D) section-3	0.87
Turbine motrice de la pompe Haute Pression	0.86
Alternateurs	0.96

TRAVAIL DEMANDÉ APRÈS LA 5^e RENCONTRE (suite)

Tableau des **données** du cycle Rankine complet :

POINT	NOM	ÉTAT	DÉBIT (kg / s)	T (°C)	P (kPa)	TITRE (-)
1	Sortie du réchauffeur # 7	Liquide				
2	Sortie du séparateur de vapeur	Fluide supercritique		374.0	27500	
3	Sortie du surchauffeur	Vapeur surchauffée		543.0	26500	
4	Sortie de la turbine HP (A)	À déterminer			5000	
5	Entrée au resurchauffeur	À déterminer				
6	Entrée turbine HP (B)	Vapeur surchauffée		538.0	4500	
7	Sortie de la turbine HP (B)	Vapeur humide			800	
8	Entrée turbine BP (A)	Vapeur surchauffée				
9	Entrée turbine BP (B)	Vapeur surchauffée				
10	Entrée turbine BP (C)	Vapeur surchauffée				
11	Entrée turbine BP (D)	Vapeur surchauffée				
12	Sortie turbine BP (A)	À déterminer				
13	Sortie turbine BP (B)	À déterminer				
14	Sortie turbine BP (C)	À déterminer				
15	Sortie turbine BP (D)	À déterminer				
16	Entrée condenseur	À déterminer			10	
17	Sortie du condenseur	Liquide saturé			10	0
18	Entrée de la pompe BP	Liquide comprimé				
19	Sortie de la pompe BP	Liquide comprimé			800	
20	Sortie du réchauffeur # 1	Liquide				
21	Sortie du réchauffeur # 2	Liquide				
22	Sortie du réchauffeur # 3	Liquide				
23	Sortie du réchauffeur # 4	Liquide				
24	Sortie du dégazeur	À déterminer				
25	Entrée de la pompe HP	Liquide				
26	Sortie de la pompe HP	Liquide comprimé	1234.0		30000	
27	Sortie du réchauffeur # 5	Liquide				
28	Sortie du réchauffeur # 6	Liquide				
29	Entrée turbine motrice pompe HP	Vapeur	61.0			
30	Sortie turbine motrice pompe HP	Vapeur humide			10	

TRAVAIL DEMANDÉ APRÈS LA 5^e RENCONTRE (suite)

Tableau des **données** du cycle Rankine complet (suite) :

31	Extraction vapeur #1 turbine HP(A)	Vapeur	102.4		8000	
32	Sortie condensat réchauffeur # 7	Liquide saturé				0
33	Extraction vapeur #2 turbine HP(A)		122.2			
34	Sortie condensat réchauffeur # 6	Liquide saturé				0
35	Extraction vapeur #1 turbine HP(B)	Vapeur	50.5		2000	
36	Sortie condensat réchauffeur # 5	Liquide saturé				0
37	Vapeur alimentée au Dégazeur	Vapeur	24.0			
38	Extraction vapeur #1 turbine BP(A)	Vapeur	2.9		450	
39	Extraction vapeur #1 turbine BP(B)	Vapeur	2.9		450	
40	Extraction vapeur #1 turbine BP(C)	Vapeur	3.6		250	
41	Extraction vapeur #1 turbine BP(D)	Vapeur	3.6		250	
42	Extraction vapeur #2 turbine BP(A)	Vapeur	3.1		100	
43	Extraction vapeur #2 turbine BP(B)	Vapeur	3.1		100	
44	Extraction vapeur #2 turbine BP(C)	Vapeur	4.4		40	
45	Extraction vapeur #2 turbine BP(D)	Vapeur	4.4		40	
46	Entrée vapeur réchauffeur # 4	Vapeur			450	
47	Sortie condensat réchauffeur # 4	Liquide saturé				0
48	Entrée vapeur réchauffeur # 3	Vapeur			250	
49	Sortie condensat réchauffeur # 3	Liquide saturé				0
50	Entrée vapeur réchauffeur # 2	Vapeur			100	
51	Sortie condensat réchauffeur # 2	Liquide saturé				0
52	Entrée vapeur réchauffeur # 1	À déterminer			40	
53	Sortie condensat réchauffeur # 1	Liquide saturé				0
54	Entrée eau de refroidissement	Liquide comprimé	45500.0	15.0	200	
55	Sortie eau de refroidissement	Liquide comprimé		25.6	110	

Particularités du cycle Rankine complet :

- Toutes les pressions du tableau des données sont en valeur **absolue**
- Les deux Pompes, les cinq Turbines et les deux Alternateurs sont des **appareils réels** dont le rendement isentropique est $< 100 \%$
- Du fait de l'extraction de la vapeur avant la fin de l'expansion dans les **Turbines**, ces Turbines doivent être traitées en plusieurs **parties distinctes**
- La pression dans et à la sortie du **Dégazeur** (point [24]) est égale à celle du point [23]
- Il est nécessaire de faire un bilan d'énergie sur le **Dégazeur** pour pouvoir déterminer les conditions au point [24]
- Il est nécessaire de faire un bilan d'énergie sur tous les **Réchauffeurs** pour déterminer les conditions au point de sortie de l'eau chauffée
- Le **débit** des points [8] – [9] – [10] – [11] sont **égaux**
- Les **pressions** des points [12] – [13] – [14] – [15] sont égales à la pression du point [16]
- Les conditions à la sortie des **trappes à vapeur** correspondent à celles de **liquide saturé**
- La **pression** à la sortie des **trappes à vapeur** est égale à la pression interne de l'équipement dans lequel le condensat se déverse (ex: $P[47] = P[48]$, ... et $P[36] = P[23]$, $P[53] = P[16]$)
- Une **perte de pression** de 75 kPa est imposée au liquide qui passe dans chaque Réchauffeur
- Les pertes de chaleur à l'environnement sont négligeables
- Puissance électrique nécessaire pour les **besoins internes** de la centrale = 78 000 kW
- La pression à l'entrée des **Pompes** est créée par une **colonne d'eau** (Z_1 et Z_2)
Hauteur de charge en amont des pompes : $Z_1 = 20 \text{ m}$ $Z_2 = 25 \text{ m}$

DÉTAIL DU TRAVAIL À FAIRE APRÈS LA 5^e RENCONTRE

Tableau paramétrique :

Faire varier la température de la vapeur à l'entrée de la Turbine Haute Pression :

$$T[3] = 500 - 520 - 540 - 560 - 580 \text{ °C}$$

Tracer un graphique de ce paramètre en fonction de deux autres variables :

La puissance totale des Turbines et le rendement Rankine du cycle

Calculer les paramètres suivants :

- Les caractéristiques thermodynamiques (T – P – h – s – x) en chaque point du cycle (55 points)
- La **puissance** de chaque Pompe ($W_{\text{dot_PBP}}$ et $W_{\text{dot_PHP}}$) et la puissance totale des 2 Pompes ($W_{\text{dot_Pompes}}$) en kW
- La **puissance de chaque** Turbine ($W_{\text{dot_THPA}}$, $W_{\text{dot_THPB}}$, $W_{\text{dot_TBPA}}$, $W_{\text{dot_TBPB}}$, $W_{\text{dot_TBPC}}$, $W_{\text{dot_TBPD}}$) et la puissance totale de toutes les Turbines ($W_{\text{dot_Turbines}}$) en kW
- La **puissance Rankine** du cycle ($W_{\text{dot_Rankine}}$) en kW
- La puissance produite par **la Turbine motrice** de la pompe HP ($W_{\text{dot_TPHP}}$) en kW
- La puissance électrique produite par les 2 **Alternateurs** ($W_{\text{dot_Alternateur}}$) en kW
- La puissance électrique disponible pour livraison sur le **réseau externe** ($W_{\text{dot_Électrique}}$) en kW

DÉTAIL DU TRAVAIL À FAIRE APRÈS LA 5^e RENCONTRE (suite)

- Le **rapport de puissance** utilisée par les Pompes sur la puissance produite par les Turbines (**Rapport_Pompe_Turbine**) en %
- Le **bilan** énergétique du **Condenseur** (**BILAN_Condenseur**) en % de l'énergie perdue par la vapeur dans le condenseur
- Le **bilan** énergétique de la Pompe HP Vs la Turbine motrice (**BILAN_PompeHP**) en % de $W_{\dot{TPHP}}$
- La **chaleur fournie** à l'eau et à la vapeur par la Chaudière (**Q_dot_Vapeur**) en kW
- Le rendement du **cycle Rankine** avec irréversibilités (**eta_Rankine**) en %
- Le rendement thermique du **cycle de Carnot** (**eta_Carnot**) en %