

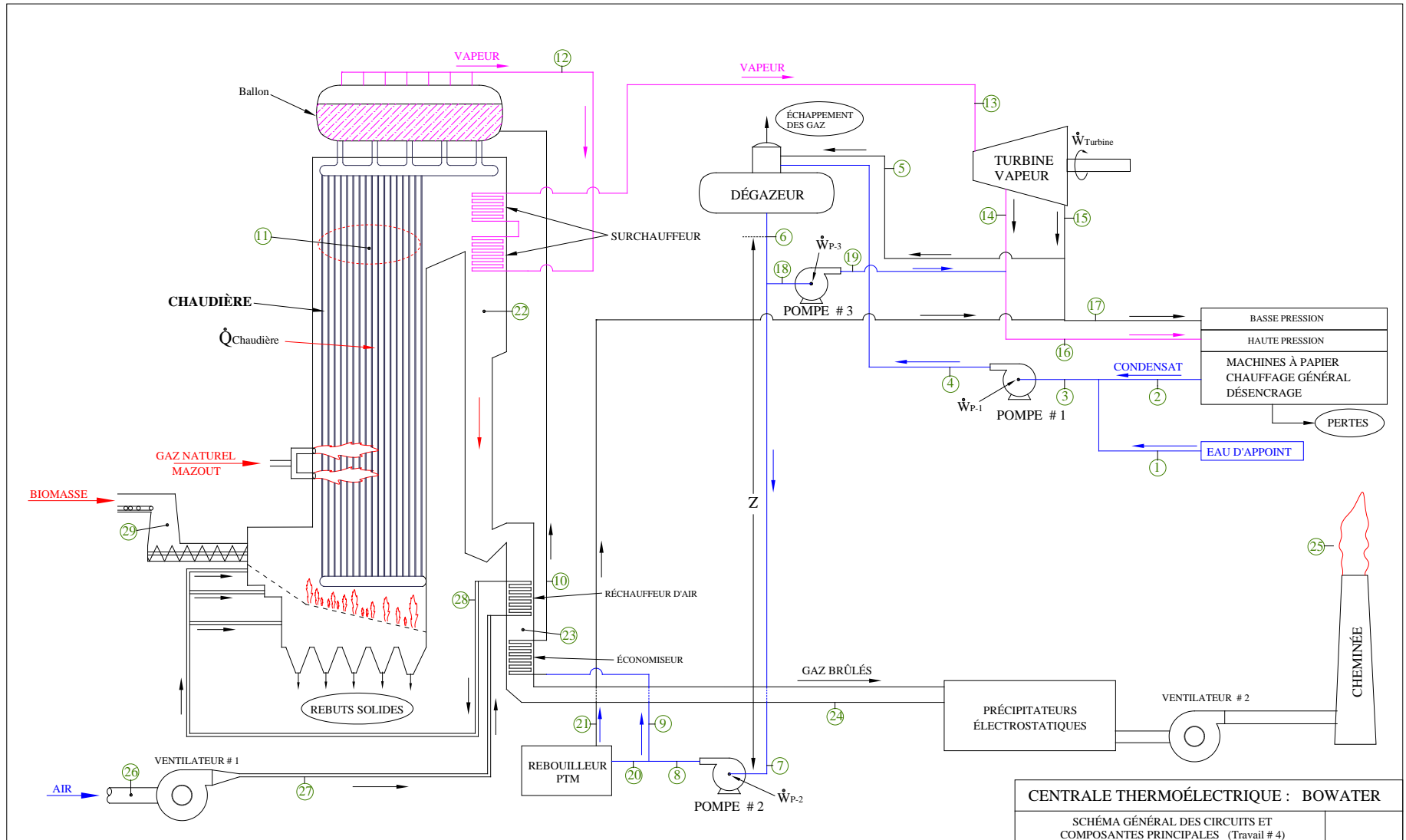
COURS THERMODYNAMIQUE

PROJET : BOWATER

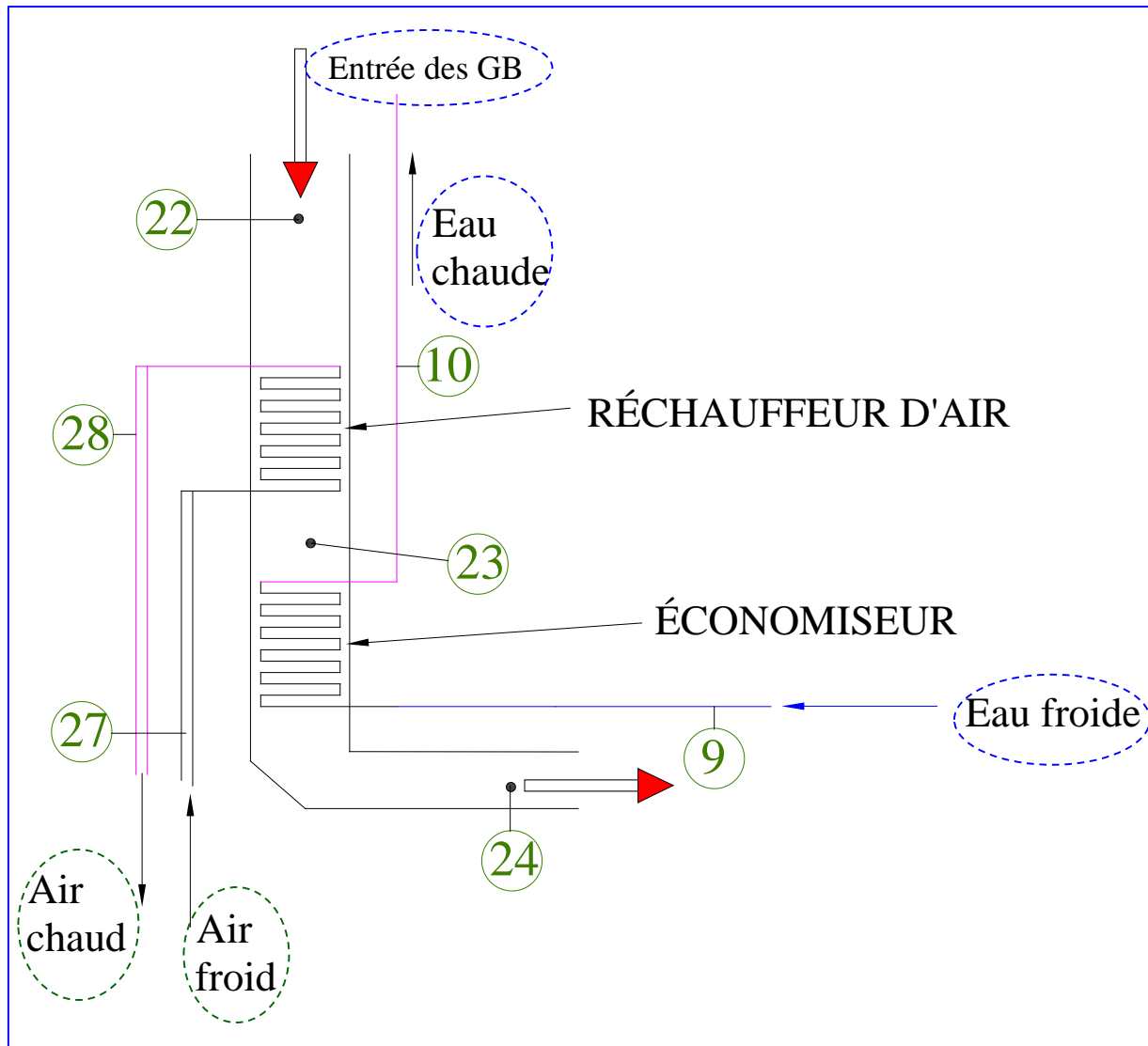
RENCONTRE # 5

Cycle Rankine avec combustion

CYCLE RANKINE COMPLET DE LA CENTRALE BOWATER



BILAN D'ÉNERGIE : ÉCONOMISEUR & RÉCHAUFFEUR D'AIR



Les gaz Brûlés réchauffent :

- L'air de combustion
- L'eau de retour vers la chaudière

COMBUSTION : ÉTAPES DE CALCULS

COMPOSITION DES GAZ BRÛLÉS : (y_i)

(% Volumétrique = % Molaire)

NOTE : utiliser « GB » pour identifier les Gaz Brûlés

CO ₂	: 13.9 %
H ₂ O	: 9.64 %
N ₂	: 72.0 %
O ₂	: 4.47 %

➤ Calcul de la masse moléculaire moyenne des Gaz Brûlés :

$$(M)_{GB} = \sum (M)_i \cdot y_i$$

$(M)_i$: Masse moléculaire de chaque espèce (kg/kmol)

(obtenir dans EES avec fonction *MolarMass(fluide)*)

y_i : Fraction molaire de chaque espèce

$(M)_{GB}$: Masse moléculaire moyenne des Gaz Brûlés (kg/kmol)

➤ Calcul de la fraction massique de chaque espèce du Biogaz :

$$mf_i = y_i * \frac{(M)_i}{(M)_{GB}}$$

mf_i : Fraction massique de chaque espèce de Gaz Brûlés

- Calcul du débit massique d'air de combustion, Point [26] :

$$\dot{m}_{\text{air}} = \dot{m}_{\text{Fuel}} * AF$$

AF : Rapport massique Air / Combustible (kg air / kg Fuel)

- Calcul de l'enthalpie moyenne des Gaz Brûlés pour une température donnée :

$$(h)_{\text{GB}} = \sum (h)_i \cdot mf_i$$

mf_i : Fraction **massique** de chaque espèce

$(h)_i$: Enthalpie de chaque espèce (**kJ/kg**)

$(h)_{\text{GB}}$: Enthalpie moyenne des Gaz Brûlés (**kJ/kg**)

- Calcul de la pression partielle de l'eau aux Point 22 – 23 – 24 - 25 :

$$P_{\text{H}_2\text{O}[i]} = y_{\text{H}_2\text{O}} * P[i]$$

NOTE : L'enthalpie moyenne des Gaz Brûlés et l'enthalpie de certaines espèces peuvent être négatives

Raison : Enthalpie donnée par EES -----> Enthalpie totale

Enthalpie totale = Enthalpie de formation + Enthalpie sensible

Le CO_2 et le H_2O Ont une enthalpie de formation

Mais le N_2 et O_2 N'ont pas d'enthalpie de formation

BILAN D'ÉNERGIE :

➤ Calcul du débit massique des Gaz Brûlés :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Débit massique} \\ \text{des Gaz Brûlés} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Débit massique} \\ \text{d'air} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Débit massique de} \\ \text{Combustible (Fuel)} \end{array} \right\}$$

➤ Calcul du bilan énergétique de l'Économiseur (*à faire pour dernier travail*):

$$\Delta \dot{Q}_{\text{Économiseur}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Gains de chaleur de} \\ \text{l'eau à l'Économiseur} \\ \text{entre les Points 9 et 10} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Pertes de chaleur des} \\ \text{Gaz Brûlés entre les} \\ \text{Points 23 et 24} \end{array} \right\}$$

➤ Calcul du bilan énergétique du Réchauffeur d'air (*à faire pour dernier travail*):

$$\Delta \dot{Q}_{\text{Réchauffeur}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Gains de chaleur de} \\ \text{l'air au Réchauffeur} \\ \text{entre les Points 27 et 28} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Pertes de chaleur des} \\ \text{Gaz Brûlés entre les} \\ \text{Points 22 et 23} \end{array} \right\}$$

TABLEAU DES DONNÉES À UTILISER

POINT	NOM	CARACTÉRISTIQUES	DÉBIT	P*	T	TITRE
			(kg / s)	(kPa)	(°C)	(-)
1	Entrée de l'eau d'appoint	Liquide	25.37	200	15	
2	Retour condensat des Utilisateurs	Liquide	23.62	200	100	
3	Entrée de condensat à la Pompe # 1	Liquide				
4	Sortie de la Pompe # 1	Liquide		240		
5	Entrée vapeur au Dégazeur	Vapeur	7.86			
6	Sortie du Dégazeur	Liquide		238		
7	Entrée de la Pompe # 2	Liquide				
8	Sortie de la Pompe # 2	Liquide		9650		
9	Entrée eau à l'Économiseur	Liquide				
10	Sortie eau de l'Économiseur	Liquide		9600	256	
11	Eau de Chaudière	Liquide saturé		8620		0
12	Vapeur sortant du ballon supérieur	Vapeur saturée		8620		1
13	Entrée de la vapeur à la Turbine	Vapeur surchauffée		8600	460	
14	Extraction de vapeur	Vers utilisation HP	18.06	1415		
15	Sortie Basse Pression de la Turbine	Vers utilisation BP & Dégazeur		274		
16	Entrée utilisation Haute Pression (HP)			1415		
17	Entrée utilisation Basse Pression (BP)			240		
18	Entrée Pompe # 3 vers utilisation HP		0.97			
19	Sortie Pompe # 3 vers utilisation HP			1415		
20	Entrée du Rebouilleur PTM	Liquide	15.27			
21	Sortie du Rebouilleur PTM	Vapeur saturée		240		1
22	Gaz Brûlés après le Surchauffeur	Gaz Brûlés		10	597	
23	Gaz Brûlés après le Réchauffeur d'air	Gaz Brûlés		8	453	
24	Gaz Brûlés après l'Économiseur	Gaz Brûlés vers la cheminée		5	172	
25	Atmosphère	Gaz Brûlés aux conditions atm.		0	5	
26	Entrée d'air au Ventilateur	Air froid		0	5	
27	Sortie d'air du Ventilateur	Air froid d'alimentation		15	6	
28	Sortie de l'air du Réchauffeur d'air	Air chaud		10	196	
29	Entrée de la Biomasse (Fuel)	Matière sèche combustible	7.917			

DONNÉES IMPORTANTES :

*Toutes les pressions sont en valeur **manométrique**

Pression barométrique de référence = 101.3 kPa

Hauteur séparant le Dégazeur de l'entrée de la Pompe # 2 (point [6] à [7]) Z = 35 m

Rendement de la première section de la turbine (avant l'extraction) = 79 %

Rendement de la deuxième section de la turbine (avant sortie) = 83 %

Rendement de la pompe # 1 = 88 %

Rendement de la pompe # 2 = 85 %

Rendement de la pompe # 3 = 85 %

Rapport massique « Air / Combustible » : AF = 7.5913 (kg Air / kg Combustible)

Composition des Gaz Brûlés : (%Volumétrique = %Molaire)

ESPÈCE GAZ BRÛLÉS	CONCENTRATION (%)
CO ₂	13.9
H ₂ O	9.64
N ₂	72.0
O ₂	4.47

HYPOTHÈSES ADDITIONNELLES (au-delà de celles du travail # 3) :

- L'air de combustion est considéré comme sec et comme un gaz parfait
- Lors de la combustion, toutes les espèces des Gaz Brûlés sont considérées comme des gaz parfaits, sauf la vapeur d'eau contenue dans les produits de combustion.
- La composition des Gaz Brûlés demeure la même aux points : 22 - 23 - 24 - 25
- Pour la vapeur d'eau contenue dans les Gaz Brûlés, il faut utiliser l'espèce « Water » (gaz réel).
- Le calcul de l'enthalpie de l'eau aux Points 22 – 23 – 24 – 25 doit utiliser la pression partielle de l'eau.
- Cela permet de prendre en compte la condensation de l'eau dans l'atmosphère, ce qui justifie le fait d'utiliser le PCS comme base de comparaison pour évaluer le rendement (notion à venir).
- La masse des rebuts solides (cendres) issus de la combustion est négligeable (ce qui implique que le débit massique des Gaz Brûlés est égale à celui de l'air plus celui du Combustible)

TRAVAIL À FAIRE APRÈS LA RENCONTRE # 5

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

- Les caractéristiques thermodynamiques en chaque point du cycle
- La chaleur fournie à la vapeur par la Chaudière et par l'Économiseur : **$Q_{\dot{V}}_{\text{Vapeur}}$** (kW)
- **La chaleur fournie à l'air par le Réchauffeur : $Q_{\dot{R}}_{\text{Réchauffeur}}$** (kW)
- La chaleur récupérée au rebouilleur PTM : **$Q_{\dot{P}}_{\text{PTM}}$** (kW)
- L'énergie thermique fournie aux utilisateurs (machines à papier) : **$Q_{\dot{U}}_{\text{Utilisateur}}$** (kW)
- L'énergie fournie par l'eau d'appoint : **$Q_{\dot{A}}_{\text{Appoint}}$** (kW)
- La puissance utilisée par les 3 Pompes : **$W_{\dot{P}}_{\text{Pompe}}$** (kW)
- La puissance brute de la Turbine avec irréversibilité : **$W_{\dot{T}}_{\text{Turbine}}$** (kW)
- Le rapport de puissance utilisée par les Pompes sur la puissance produite par la Turbine
 $\text{Rapport}_{\text{Pompe_Turbine}}$ (%)
- La puissance nette du cycle Rankine (puissance mécanique de la Turbine moins puissance des Pompes) : **$W_{\dot{R}}_{\text{Rankine}}$** (kW)
- Le rendement du cycle Rankine avec irréversibilités : **η_{Rankine}** (%)
- Le rendement du cycle de Carnot correspondant : **η_{Carnot}** (%)
- **Le débit massique total des Gaz Brûlés : $m_{\dot{22}}$** (kg/s)
- **L'enthalpie moyenne des Gaz Brûlés aux Points 22 - 23 - 24 - 25 : $h_{\text{GB}}[xx]$**
- **L'enthalpie de l'air aux Points 27 et 28**