

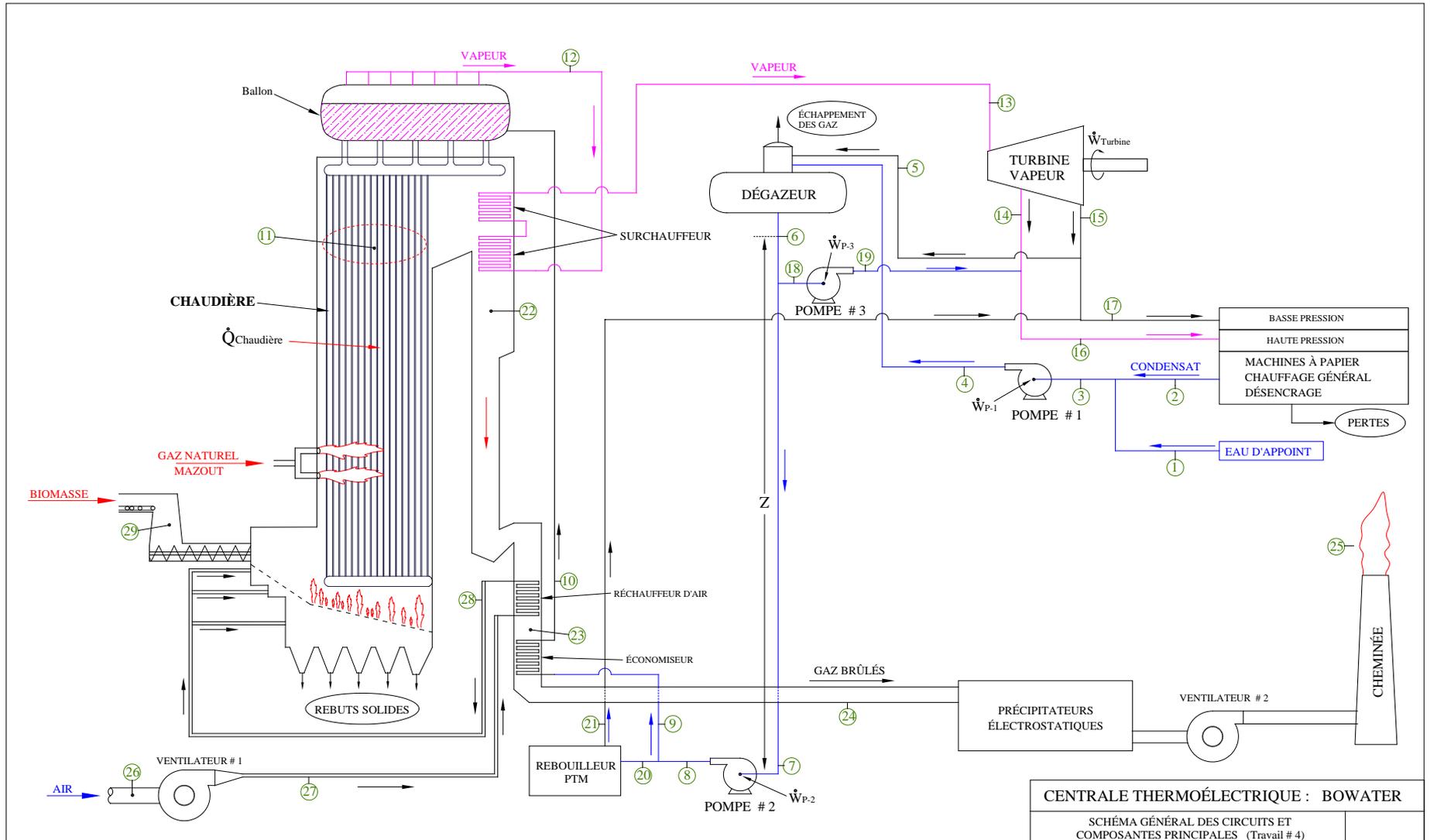
# **COURS THERMODYNAMIQUE**

## **PROJET : BOWATER**

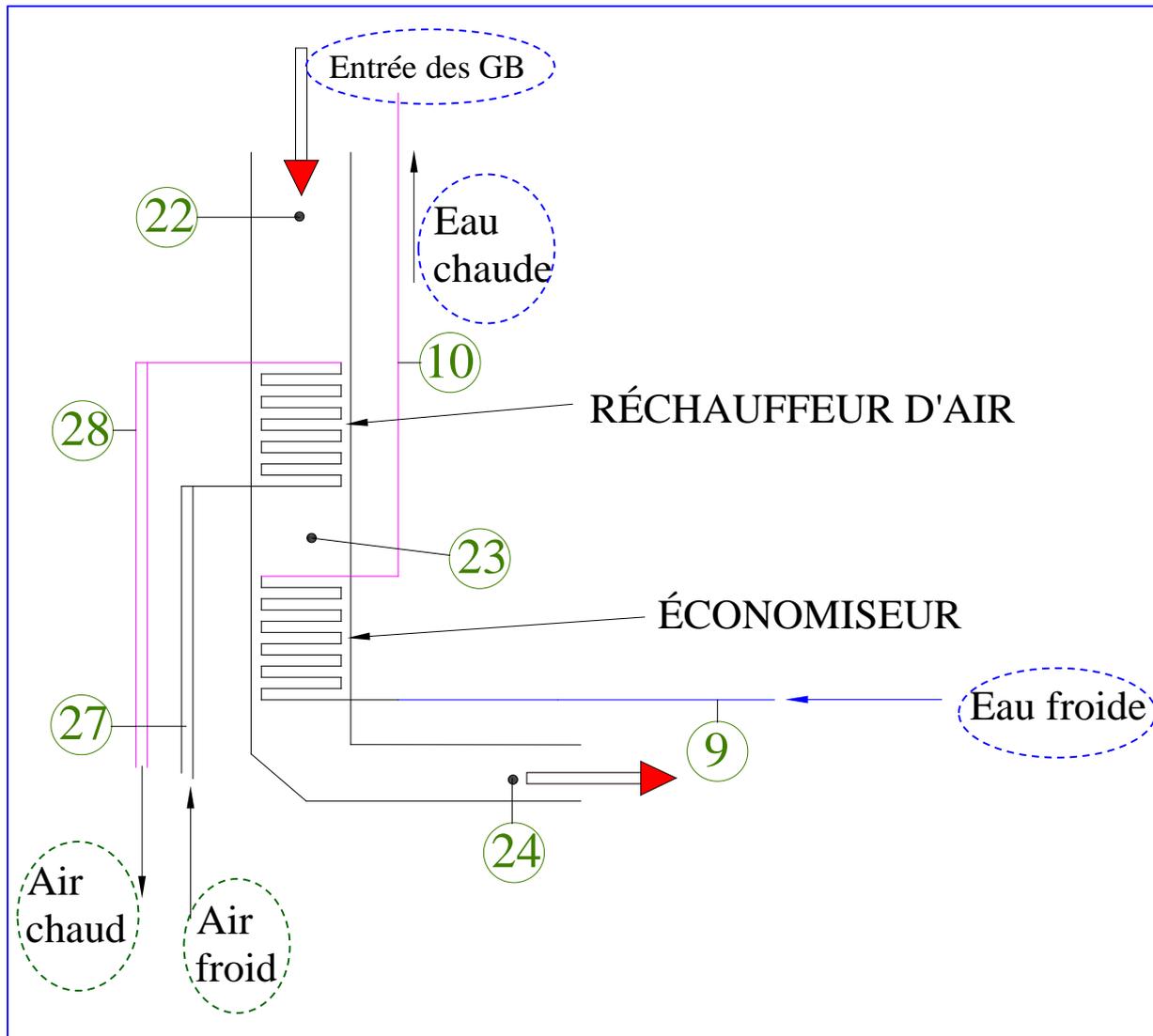
### **RENCONTRE # 5**

#### **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 <sub>2</sub>  | : 13.9 % |
| H <sub>2</sub> O | : 9.64 % |
| N <sub>2</sub>   | : 72.0 % |
| O <sub>2</sub>   | : 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  $\text{CO}_2$  et le  $\text{H}_2\text{O}$  ..... Ont une enthalpie de formation

Mais le  $\text{N}_2$  et  $\text{O}_2$  ..... 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 <sub>2</sub>   | 13.9              |
| H <sub>2</sub> O  | 9.64              |
| N <sub>2</sub>    | 72.0              |
| O <sub>2</sub>    | 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 :  **$\eta_{\text{Rankine}}$**  (%)
- Le rendement du cycle de Carnot correspondant :  **$\eta_{\text{Carnot}}$**  (%)
- **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**