

COURS THERMODYNAMIQUE

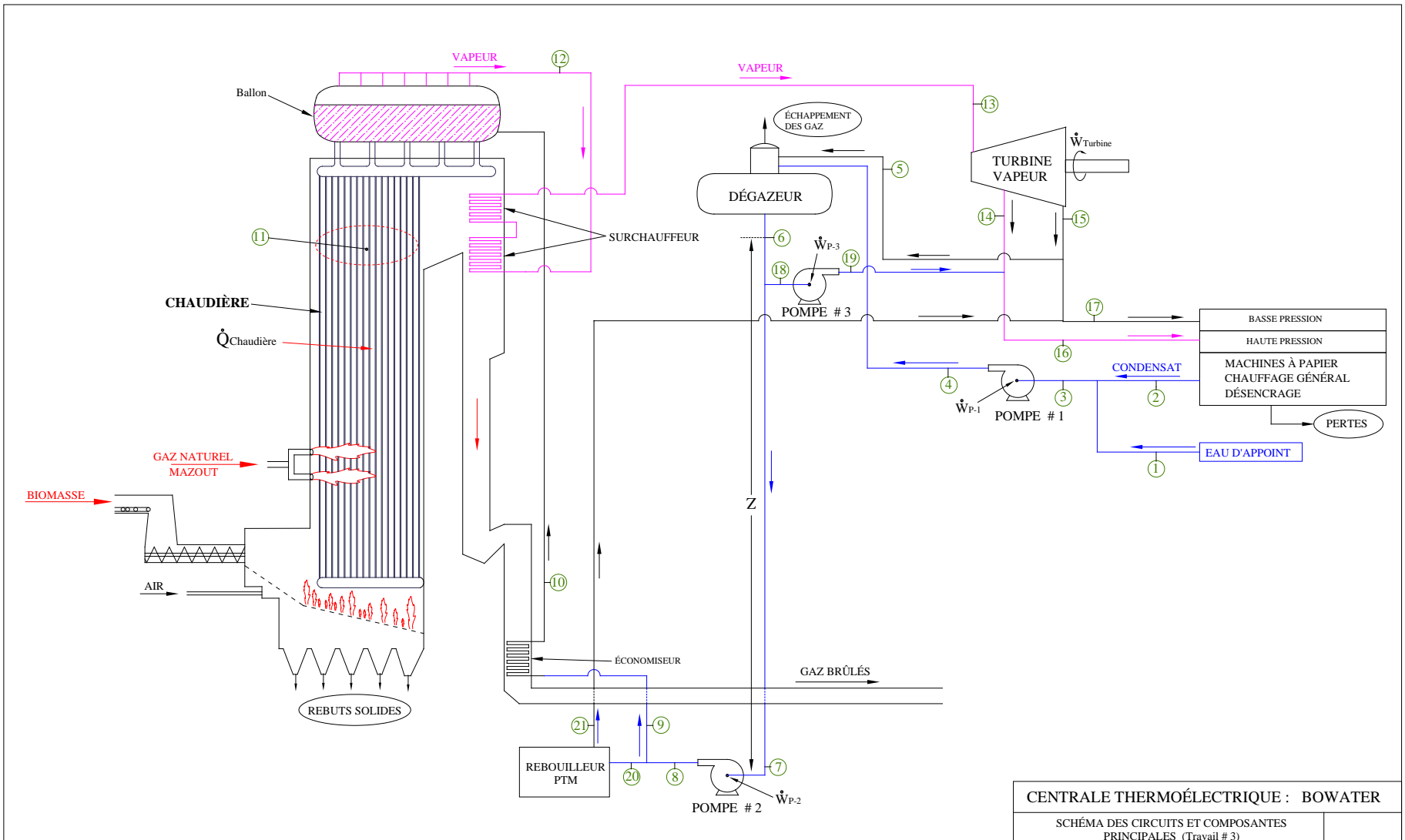
PROJET : BOWATER

RENCONTRE # 4

CYCLE RANKINE AVEC SOUTIRAGE ET IRRÉVERSIBILITÉS

CYCLE RANKINE : CENTRALE BOWATER

AVEC SOUTIRAGE ET IRRÉVERSIBILITÉS



CENTRALE THERMOÉLECTRIQUE : BOWATER
 SCHÉMA DES CIRCUITS ET COMPOSANTES PRINCIPALES (Travail # 3)

PERTES DANS LES COMPOSANTES

TYPES DE PERTES :

1. Pertes par frottement du fluide lors de l'écoulement dans la turbine, les pompes et toutes les conduites
2. Pertes de chaleur par les parois
3. Pertes par frottement mécanique (roulements à billes)

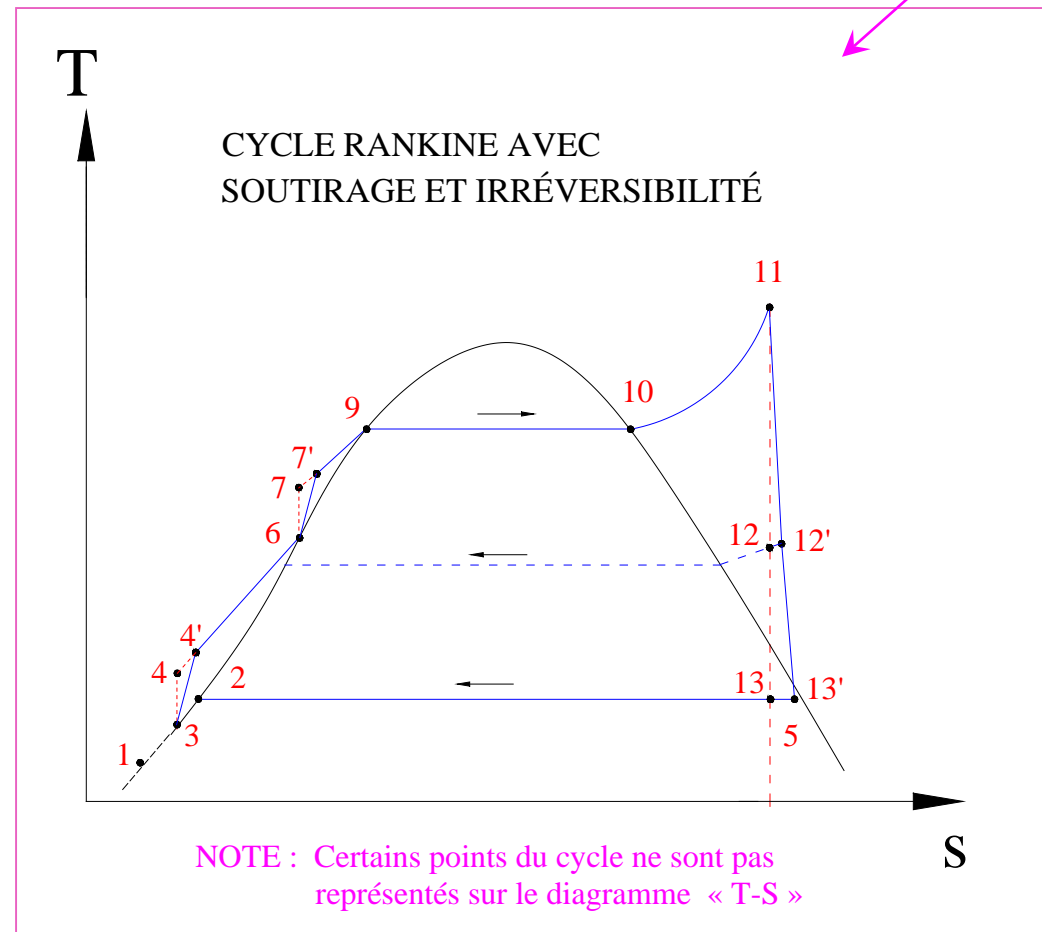
SCHÉMA GÉNÉRIQUE
N'est pas exactement
représentatif du circuit de la
centrale Bowater

POUR LE TRAVAIL :

Nous ne tiendrons compte que
des pertes dans la Turbine et
dans les 3 Pompes

ATTENTION :

La Turbine doit être traitée par
section (soutirage)



DÉFINITION DU RENDEMENT ISENTROPIQUE DES APPAREILS

ATTENTION : Les indices correspondent aux points du cycle de la centrale Bowater
(Rencontre # 4)

Rendement de la Turbine (1^e section) :

$$\eta_{T,1} = \frac{\text{Travail réel produit par la Turbine}}{\text{Travail isentropique}} = \frac{h_{13} - h_{14}}{h_{13} - h_{14,s}}$$

Les 2 sections de la turbine doivent être traitées séparément

$h_{14,s}$: enthalpie au point 14 lors d'une détente isentropique

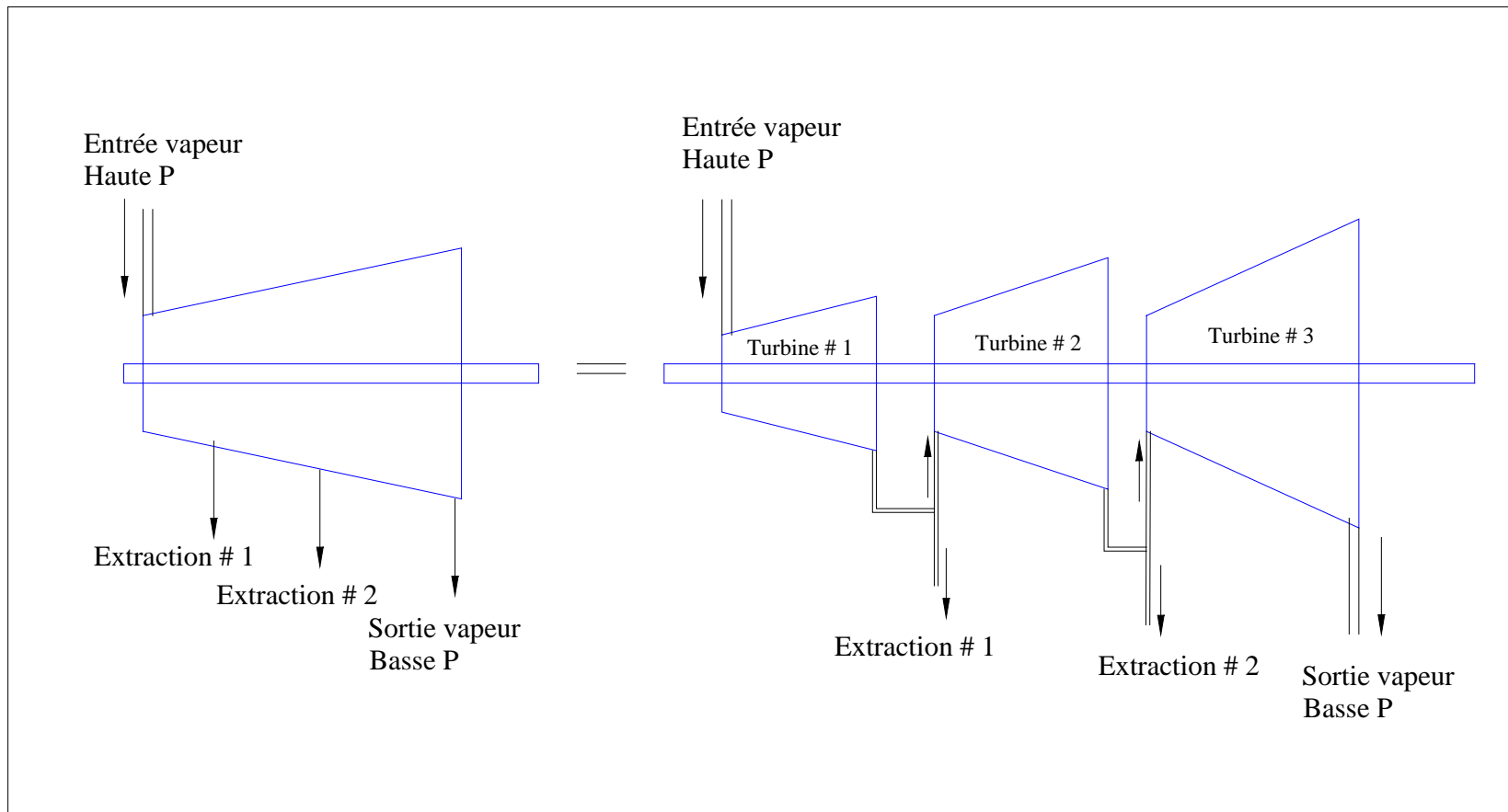
Rendement de la Pompe # 1 :

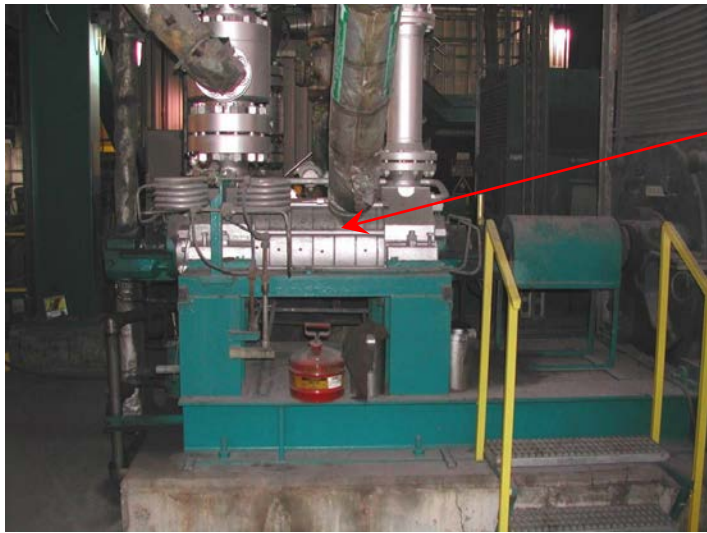
$$\eta_P = \frac{\text{Travail isentropique consommé par la Pompe}}{\text{Travail réel consommé par la Pompe}} = \frac{h_{4,s} - h_3}{h_4 - h_3}$$

NOTES : Ne connaissant pas certains paramètres pour la sortie des appareils, il est nécessaire de calculer en premier lieu les paramètres de sortie en supposant une évolution isentropique, puis évaluer les valeurs réelles.

SOUTIRAGE DE LA VAPEUR

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





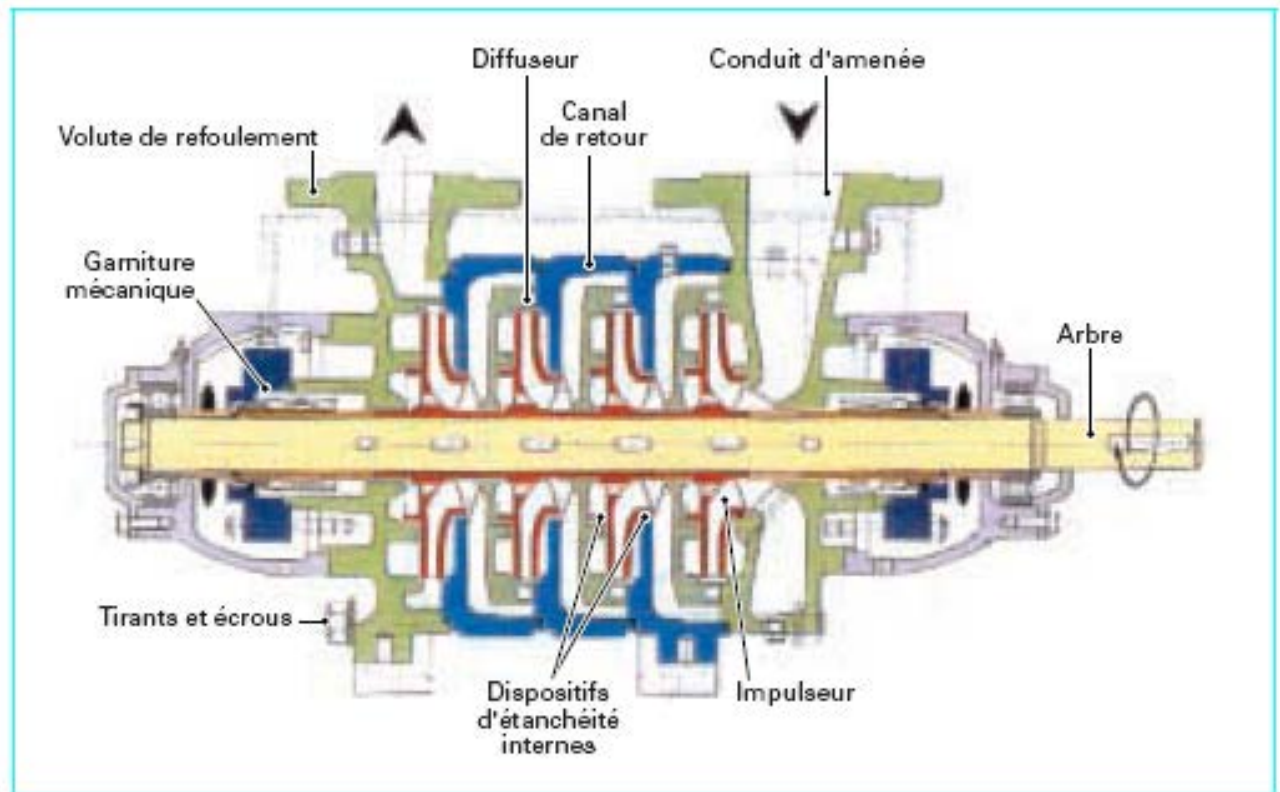
Pompe centrifuge



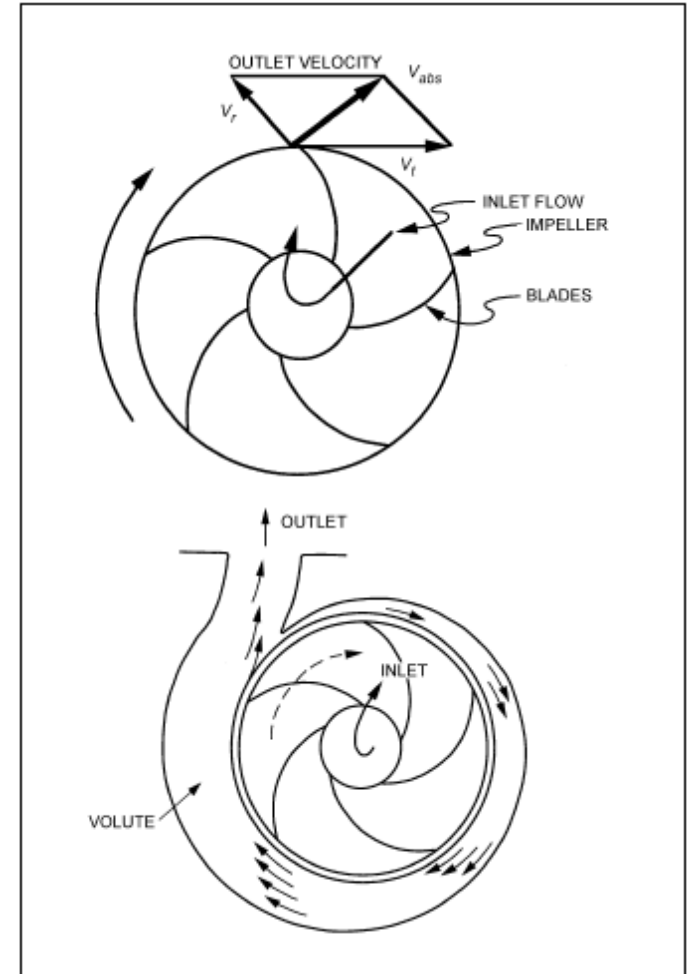
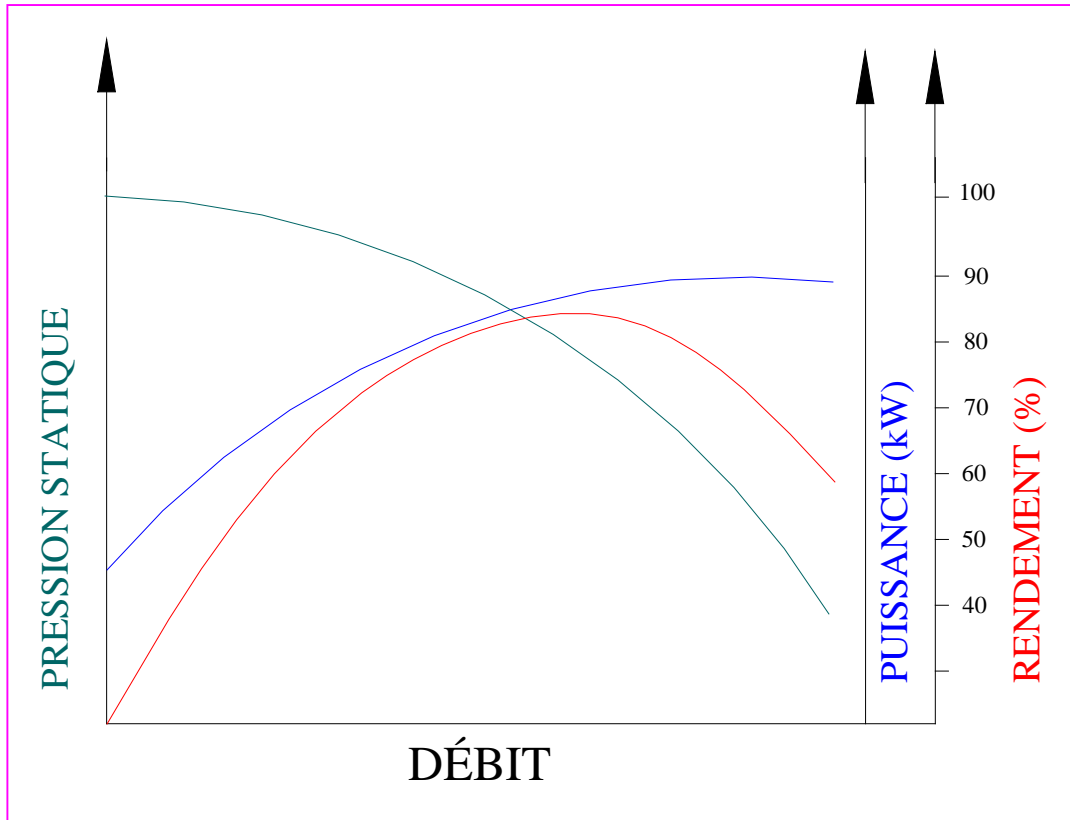
Moteur électrique

Pertes dans les pompes :

- Rendement du moteur électrique $< 100\%$
- Pertes par frottement mécanique
- Pertes par frottement visqueux



CARACTÉRISTIQUES DES POMPES CENTRIFUGES



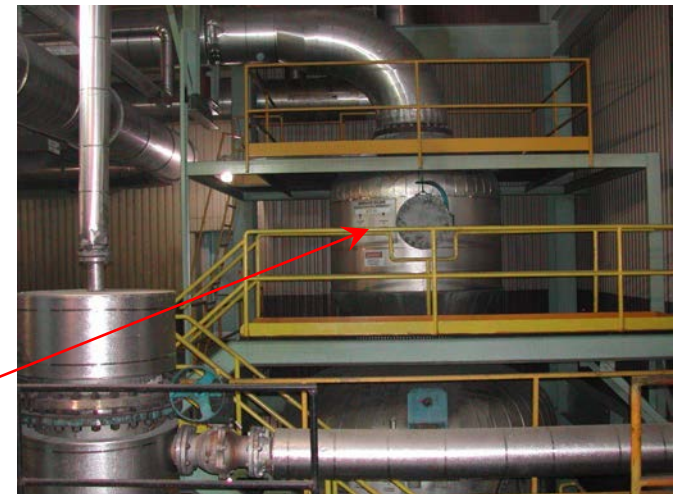
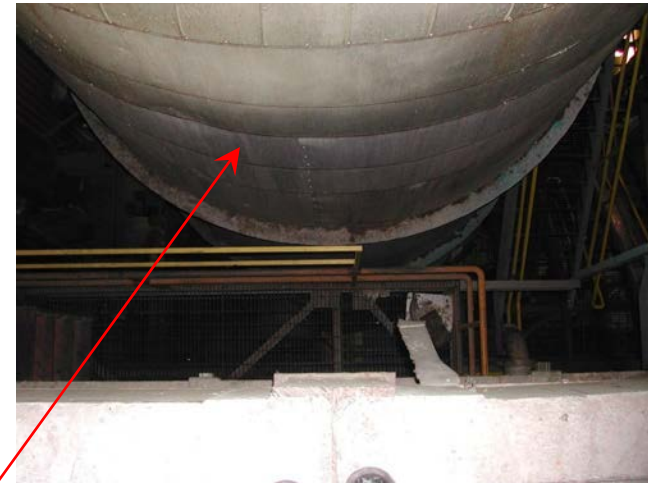
REBOUILLEUR PTM (PÂTE THERMOMÉCANIQUE)

FONCTION : Récupérer la chaleur produite par le travail des broyeurs qui transforment les particules de bois en pâte à papier

OPÉRATION : L'eau grise utilisée dans les broyeurs passe dans un échangeur de chaleur sans contact
Une partie de l'eau propre sortant de la pompe # 2 récupère cette chaleur par évaporation



Broyeur pour production de la pâte thermomécanique



Récupérateur : Rebouilleur

TABLEAU DES PROPRIÉTÉS DES FLUIDES (VAPEUR – EAU) : CENTRALE BOWATER AVEC SOUTIRAGE & IRRÉVERSIBILITÉS

POINT	NOM	CARACTÉRISTIQUES	DÉBIT (kg/s)	P* (kPa)	T (°C)	TITRE (-)
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 Basse Pression 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 Économiseur	Liquide				
10	Sortie Économiseur	Liquide		9600	256	
11	Point virtuel dans la Chaudière	Liquide saturé		8620		0
12	Vapeur sortant du Ballon	Vapeur saturée		8620		1
13	Entrée de la vapeur à la Turbine	Vapeur surchauffée		8600	460	
14	Extraction de vapeur	Vers utilisation Haute Pression	18.06	1415		
15	Sortie 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		0.97			
19	Sortie Pompe # 3 vers utilisation HP			1415		
20	Entrée du Rebouilleur PTM		15.27			
21	Sortie du Rebouilleur PTM	Vapeur saturée		240		1

DONNÉES IMPORTANTES :

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

Pression barométrique de référence = **101.3 kPa**

Hauteur séparant le Dégazeur de la Pompe # 2 (point [6] à [7]) $Z = 35 \text{ m}$

Rendement de la première section de la turbine (avant l'extraction # 1) = **79 %**

Rendement de la deuxième section de la turbine (avant l'extraction # 2) = **83 %**

Rendement de la pompe # 1 = **88 %**

Rendement de la pompe # 2 = **85 %**

Rendement de la pompe # 3 = **85 %**

NOTES :

Les propriétés thermodynamiques des points [5] et [15] sont les mêmes

Les propriétés thermodynamiques des points [6] et [18] sont les mêmes

Les propriétés thermodynamiques des points [8], [9] et [20] sont les mêmes

TRAVAIL À FAIRE : Hypothèses à utiliser

- 1) Le régime est permanent
- 2) Les pertes de pression par frottement dans les conduites sont négligées, sauf où la pression a été mesurée
- 3) Les pertes de chaleur sont négligées
- 4) Les changements d'énergie cinétique sont négligés
- 5) Les changements d'énergie potentielle sont négligés, sauf entre les points [6] et [7]
- 6) La condensation de la vapeur se fait au niveau des machines à papier (Utilisateur)
- 7) La perte de chaleur du dégazeur à l'environnement est négligeable
- 8) L'eau perdue par les machines à papier a les mêmes propriétés thermodynamiques que le condensat qui sort de ces machines (point [2])

NOUVEAUX ÉLÉMENTS DU CYCLE :

- Soutirage de la vapeur
- Rebouilleur PTM : une partie de l'eau sortant de la Pompe # 2 est déviée
- Baisse de pression dans certaines conduites
- Rendement de la Turbine (par section)
- Rendement des Pompes centrifuges

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** :

- Caractéristiques thermodynamiques en chaque point du cycle
- Chaleur fournie à la vapeur par la chaudière et par l'économiseur: **$Q_{\dot{V}}_{\text{Vapeur}}$** (kW)
- Chaleur récupérée au rebouilleur PTM : **$Q_{\dot{P}}_{\text{PTM}}$** (kW)
- Énergie thermique fournie aux Utilisateurs (machines à papier) :
 $Q_{\dot{U}}_{\text{Utilisateur}}$ (kW)
- Perte de masse d'eau par Utilisateurs (machines à papier) : **$m_{\dot{P}}_{\text{Pertes}}$** (kg/s)
- Perte d'énergie due à la perte de masse d'eau par Utilisateurs : **$Q_{\dot{P}}_{\text{Pertes}}$** (kW)
- Énergie fournie par l'eau d'appoint : **$Q_{\dot{A}}_{\text{Appoint}}$** (kW)
- Puissance utilisée par les 3 Pompes : **$W_{\dot{P}}_{\text{Pompe}}$** (kW)
- Puissance brute de la Turbine : **$W_{\dot{T}}_{\text{Turbine}}$** (kW)
- Rapport de puissance utilisée par les Pompes sur la puissance produite par la Turbine
Rapport_Pompe_Turbine (%)
- Puissance nette du cycle Rankine (puissance mécanique de la turbine moins puissance des pompes) : **$W_{\dot{R}}_{\text{Rankine}}$** (kW)
- Rendement du cycle Rankine avec irréversibilités : **η_{Rankine}** (%)
- Rendement du cycle de Carnot correspondant : **η_{Carnot}** (%)

Note: Utiliser les **noms de variables** présentés **en gras** ci-dessus pour les paramètres globaux à calculer dans votre programme