

MEC1210 – THERMODYNAMIQUE

PROJET :

CENTRALE AU CHARBON GENERAL GAVIN

RENCONTRE # 3

CYCLE RANKINE AVEC :

2 TURBINES DE PUISSANCE

2 POMPES

1 TURBINE MOTRICE DE LA POMPE HP

1 DÉGAZEUR

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 !!

IDENTIFICATION DU TRAVAIL (rappel)

Au début du programme EES vous devez vous identifier afin d'éviter les erreurs. Méthode imposée :



```
Equations Window

"! COURS MEC1210 : PROJET THERMODYNAMIQUE "

" TRAVAIL # 1

TRAVAIL FAIT PAR :      MARIE TREMBLAY ( 2222222 )
                       PIERRE SIMARD-DAOUD ( 3333333)

Hypothèses utilisées :
.....
.....

Système d'unités : SI ----> m - s - K - kg - kJ - kPa

Dernières modifications : 2016-09-27 "

"-----"

$TabStops 1 cm

" ENTRÉE DES DONNÉES CONSTANTES "
```

US | Line: 22 Char: 1 | Wrap: On | Insert | Caps Lock: Off | SI C kPa kJ mass deg | Warnings: On | Unit Chk: On

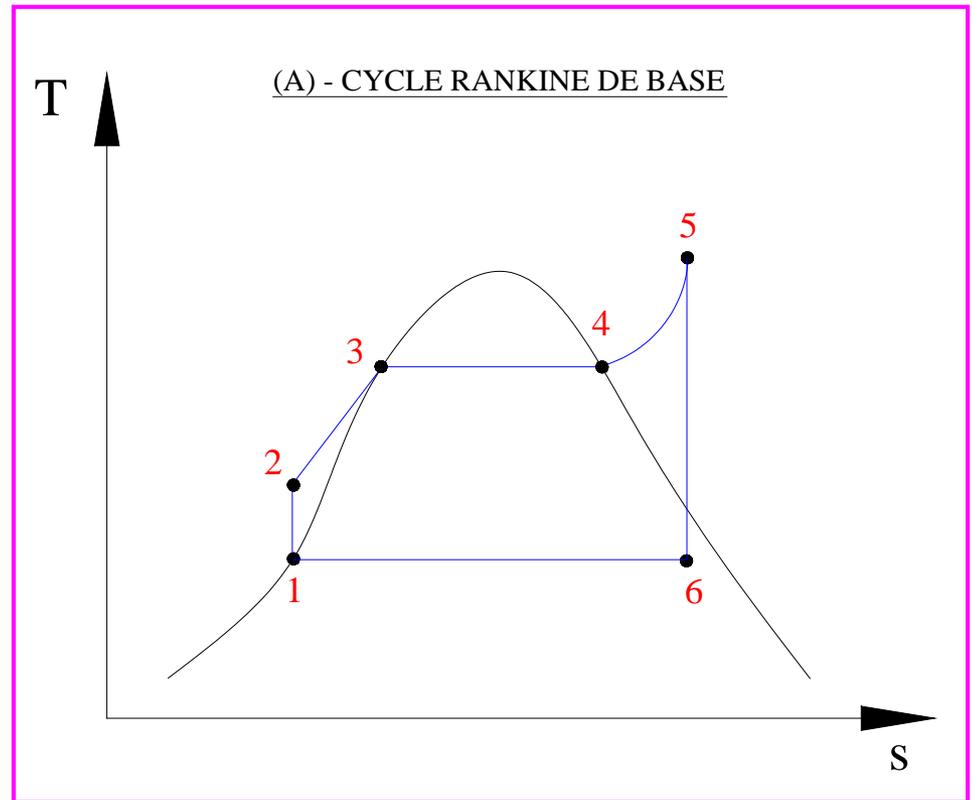
CYCLE RANKINE ÉLÉMENTAIRE

QUESTION :

Comment augmenter le rendement du cycle Rankine ?

RÉPONSE :

Il y a plusieurs approches



A) Augmentation du rendement par :

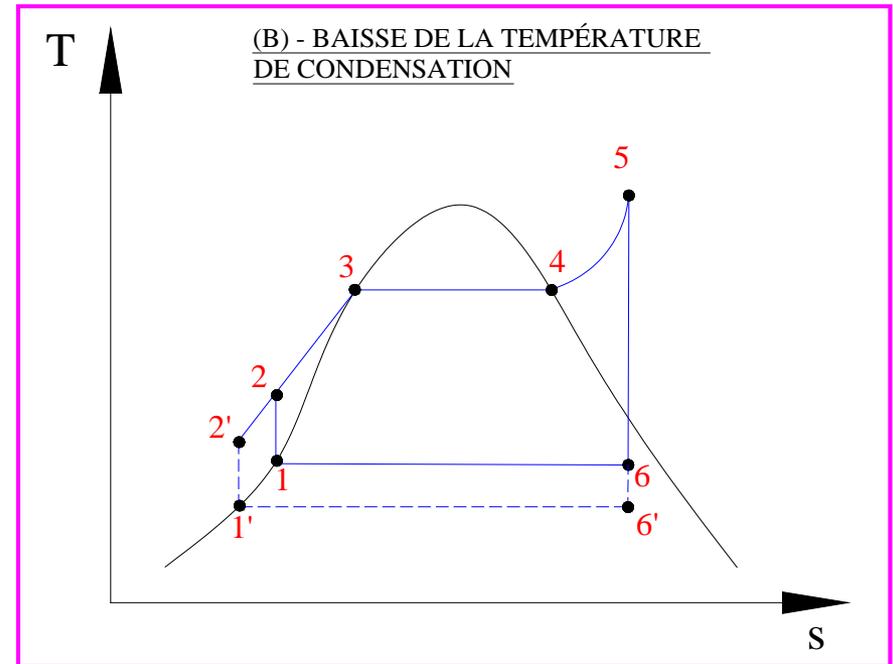
Baisse de la température de condensation !

Si : $P_{6'} < P_6$

→ Alors : $x_{6'} < x_6$

Il y aura alors plus d'humidité dans la vapeur et plus de risque de dommage aux pales de la turbine

Cette humidité fait diminuer le rendement de la turbine (η_T)



Surface (6 - 6' - 1' - 2' - 2 - 1) -----> Augmentation du travail net

Surface (0 - 2' - 2 - 0) -----> Augmentation de la chaleur fournie

NOTE : Dans le cas de beaucoup de centrale, c'est la limite inférieure atteignable de la pression dans le condenseur qui fixe la limite (9.0 kPa absolue) !

B) Augmentation du rendement par :

Augmentation de la température à l'entrée de la turbine !

SURFACE (5-5'-6'-6) :

Augmentation du travail net

Donc augmentation de η_{net}

EFFET :

Diminution de l'humidité dans la turbine

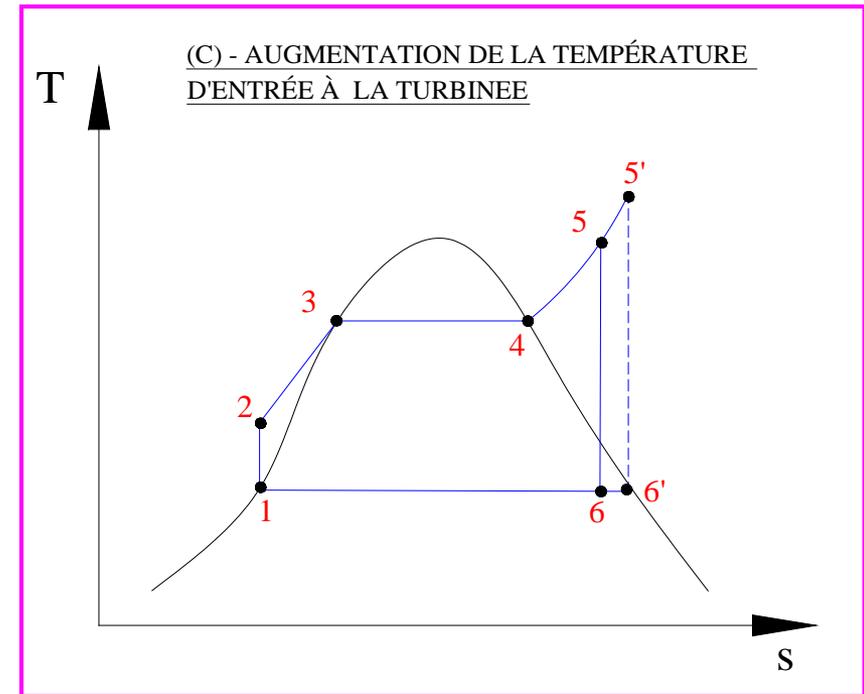
$$x_{6'} > x_6$$

Ce qui est un avantage !

PROBLÈME :

La température est limitée par la résistance des métaux.

Actuellement la limite est d'environ 620 °C (893 K) pour les centrales classiques



C) Augmentation du rendement par :

Augmentation de la pression de fonctionnement de la chaudière !

Si : $T_{5'} = T_5$ et $P_{6'} = P_6$

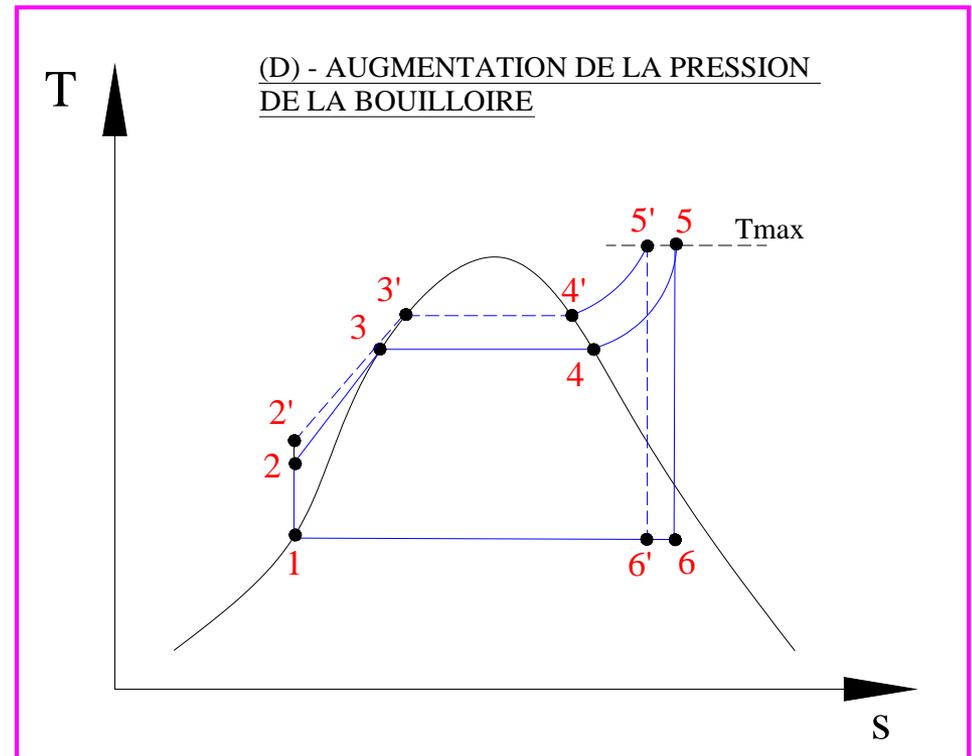
Et si : P_3 augmente

Alors : T_3 augmente

et η_{net} augmente

Mais : $x_{6'} < x_6$

Effet indésirable !!



SOLUTION (D)

Aucun des cas (A) – (B) – (C) n'est idéal.

Il faut chercher une autre modification du cycle !

RESURCHAUFFE :

Il faut utiliser 2 turbines :

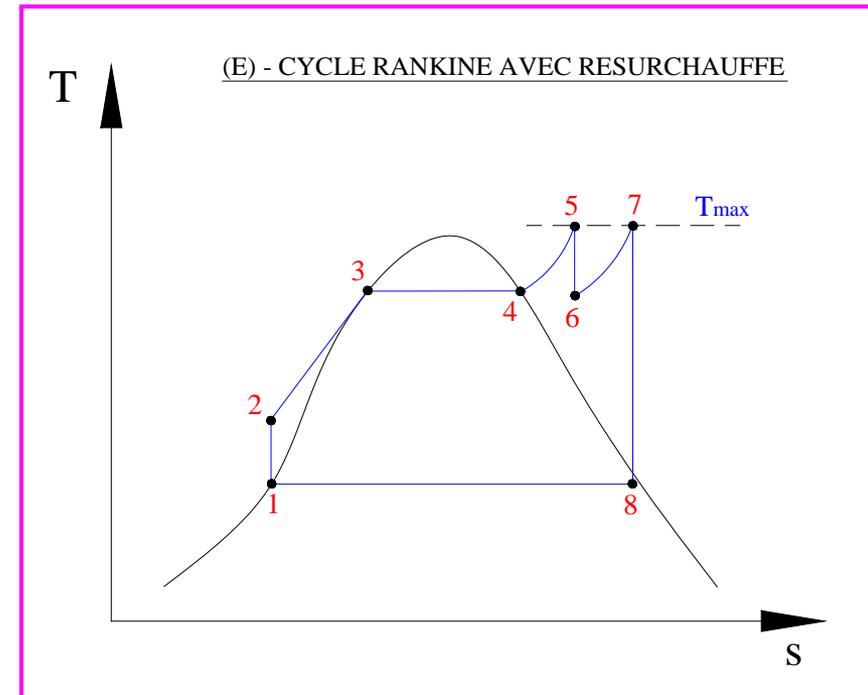
Haute pression (HP)

Basse pression (BP)

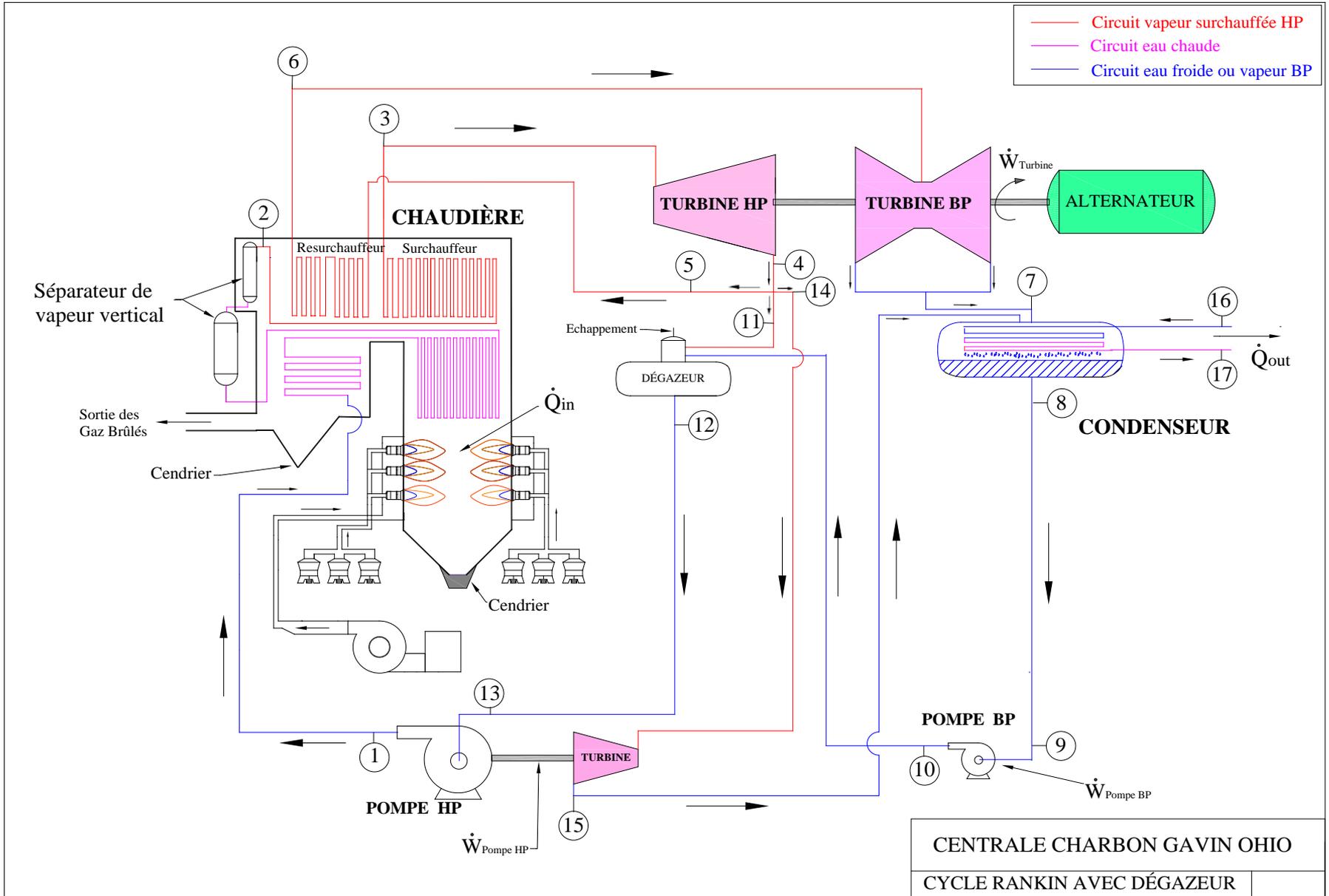
Donc il faut faire passer la vapeur sortante de la 1^e turbine dans un **resurchauffeur** (d'où le nom du cycle)

AVANTAGES :

Ce cycle permet **d'augmenter la pression** d'opération de la turbine HP sans baisser le titre de la vapeur à la fin de la détente.



D) APPROCHE : CYCLE RANKINE AVEC 2 TURBINES ET DÉGAZEUR



NOTION DE RENDEMENT THERMIQUE

Rendement du cycle de Carnot :

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

T eau refroidissement
~ *T* max. vapeur

Rendement du cycle Rankine :

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

Bilan énergétique d'un appareil (Condenseur – Dégazeur) :

$$\Delta \text{Énergie} = \text{Énergie entrante} - \text{Énergie sortante} \approx 0$$

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

DÉGAZEUR : DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Réchauffeur avec mélange

- 1) Une faible portion de la vapeur est soutirée de la turbine après une détente partielle (via la Turbine HP)
- 2) Une partie de cette vapeur est introduite dans le réchauffeur à mélange (dégazeur)
- 3) Une autre partie de cette vapeur alimente la turbine motrice de la Pompe HP
- 4) Le reste de la vapeur est resurchauffée dans la chaudière et termine sa détente dans la Turbine BP, puis passe par le condenseur pour devenir liquide
- 5) Ce condensat est pompé (par Pompe BP) dans le dégazeur où il est mélangé avec la vapeur soutirée de la turbine
- 6) La vapeur soutirée permet d'augmenter la température du liquide condensé près du niveau de la saturation à une pression intermédiaire plus faible que la pression du générateur de vapeur . Ceci facilite le dégazage
- 7) Une autre pompe (Pompe HP) est nécessaire pour remonter la pression au niveau désiré
- 8) Ce système permet de retirer l'oxygène de l'eau pour protéger de la corrosion les tubulures, pompes et la turbine

LOI DE HENRY

Les gaz peuvent être solubles dans les liquides :

CO₂ dans des boissons gazeuses

CO₂ dans le Champagne

N₂ dans le sang

ÉQUATION DE SOLUBILITÉ : $P_A = k_H y_A$

P_A : pression partielle du gaz au dessus du liquide

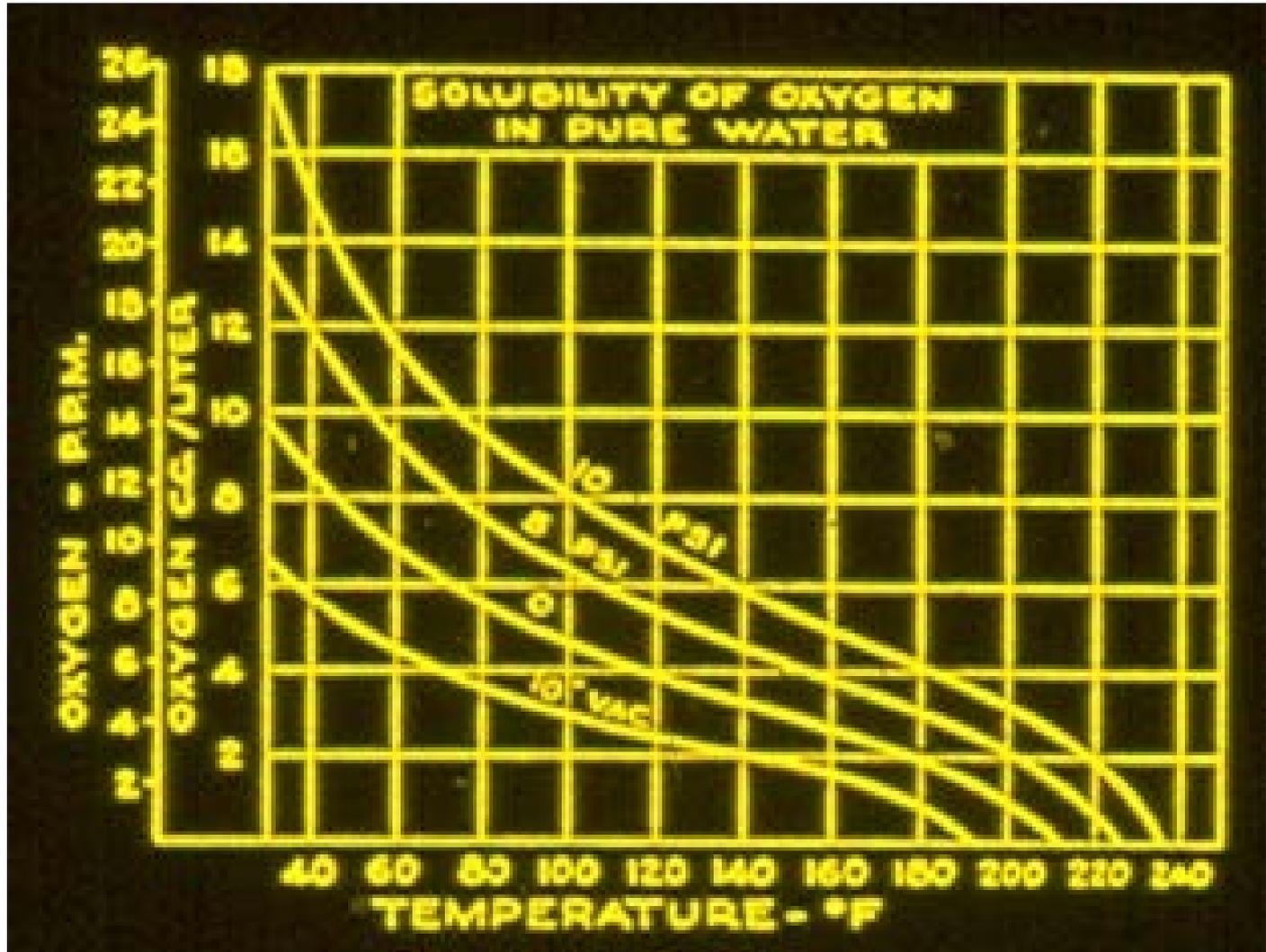
k_H : constante de Henry , fonction du type de liquide et du type de gaz

y_A : fraction molaire du gaz en solution dans le liquide

SOLUBILITÉ DU O₂ DANS DE L'EAU

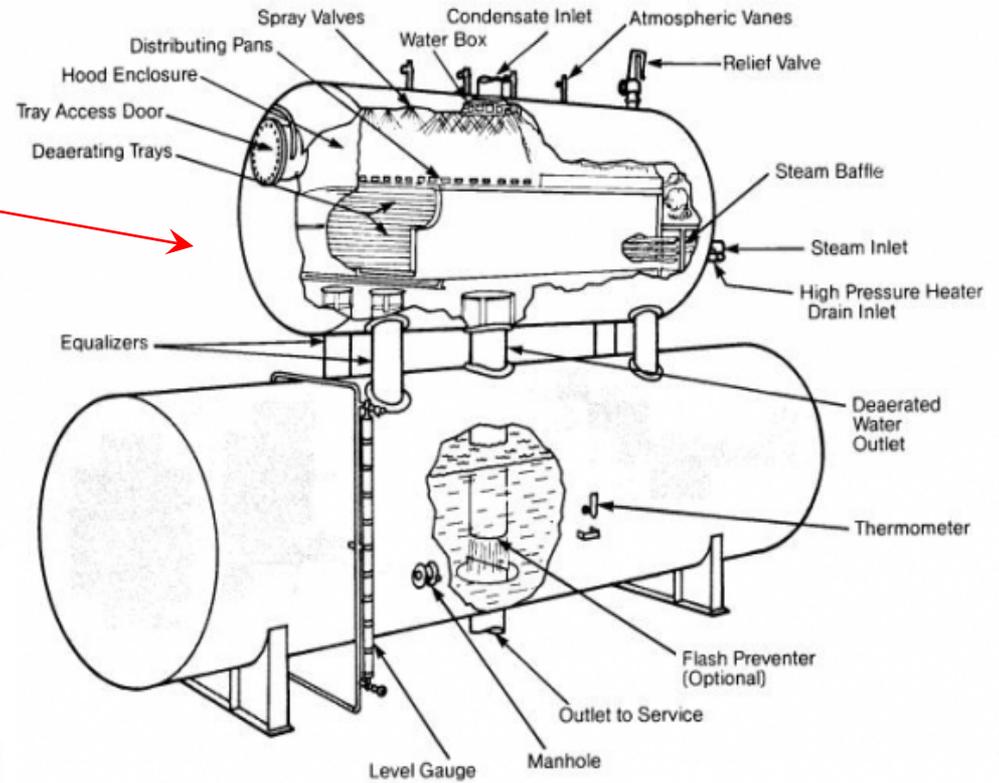
FONCTION DE :

- PRESSION
- TEMPÉRATURE



DÉGAZEUR (Open Feed Water Heater)

Schéma d'un dégazeur typique



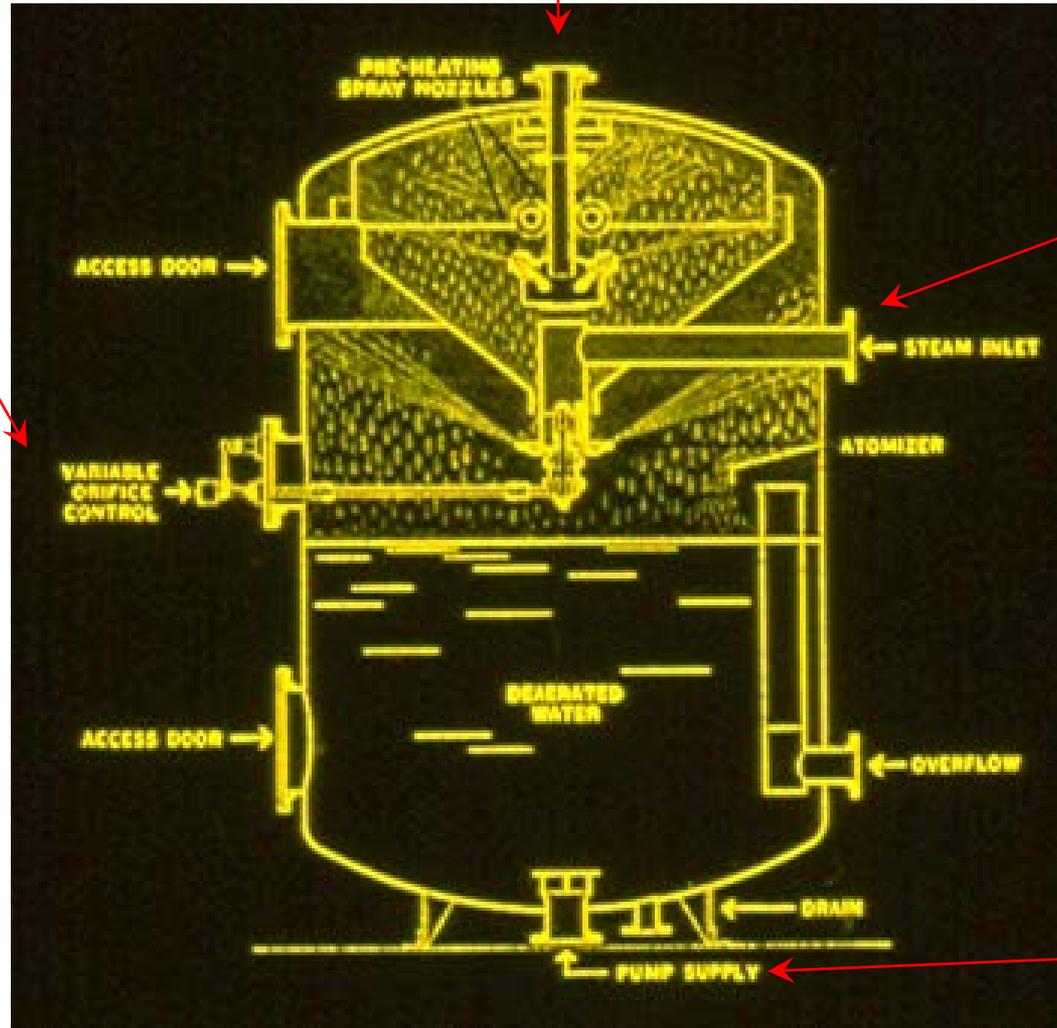
Ballon supérieur servant à séparer l'eau des gaz

Réservoir d'accumulation du liquide condensé

RÉCHAUFFEUR AVEC MÉLANGE (DÉGAZEUR) VUE DE L'INTÉRIEUR

Entrée eau
froide

Sortie gaz (O_2 , N_2)



Entrée de
la vapeur

Sortie eau
chaude vers
la pompe

TRAVAIL DEMANDÉ APRÈS 3^e RENCONTRE

Terminer le **programme EES de calcul** des paramètres thermodynamiques du cycle Rankine avec 2 Turbines en supposant que les évolutions sont isentropiques pour la Pompe et les Turbines. Vous devez utiliser les données suivantes :

POINT	NOM	ÉTAT	DÉBIT	T	P*	TITRE
			(kg / s)	(°C)	(kPa)	(-)
1	Sortie de la pompe HP	Liquide comprimé	1234		30000	
2	Point de sortie séparateur de vapeur	Fluide supercritique		374.1	27500	
3	Entrée de la turbine HP	Vapeur surchauffée		543.1	26500	
4	Sortie de la turbine HP				5000	
5	Entrée au resurchauffeur					
6	Sortie du resurchauffeur	Vapeur surchauffée		538.0	4500	
7	Sortie de la turbine BP				10	
8	Sortie condenseur	Liquide saturé			10	0
9	Entrée pompe BP	Liquide comprimé				
10	Sortie pompe Basse Pression	Liquide comprimé			800	
11	Soutirage de la vapeur turbine HP					
12	Sortie du dégazeur					
13	Entrée de la pompe HP	Liquide comprimé				
14	Entrée turbine motrice pompe HP		39.7			
15	Sortie turbine motrice pompe HP				10	
16	Entrée eau de refroidissement	Liquide	45500	15.3	200	
17	Sortie eau de refroidissement	Liquide		27.8	110	

* Pressions absolues

NOTES IMPORTANTES :

- Toutes les pressions sont en valeur **absolue**
- Hauteur séparant le condenseur de la pompe BP (point [8] et [9]) : $Z_1 = 20$ m
- Hauteur séparant le dégazeur de la pompe HP (point [12] et [13]) : $Z_2 = 25$ m
- Soutirage de la vapeur à la sortie de la turbine HP pour le dégazeur (point [11])
= **6 %** de la masse totale

NOUVEAUX ÉLÉMENTS DU CYCLE :

- a) Deux Turbines de puissance : Haute & Basse pression
- b) Une Turbine motrice de la Pompe Haute Pression
- c) Deux Pompes : Haute & Basse pression
- d) Un Dégazeur
- e) Soutirage de la vapeur à la sortie de la Turbine Haute Pression pour alimenter le Dégazeur

Note : pour pouvoir calculer les conditions à la sortie du Dégazeur, il faut faire un bilan d'énergie sur cet équipement

HYPOTHÈSES À UTILISER :

- 1) Le régime est **permanent**
- 2) Les **pertes de pression** par frottement dans les conduites sont négligées, sauf dans la Chaudière où les pressions réelles sont données dans le tableau
- 3) Les **pertes de chaleur** sont négligées
- 4) La **détente de la vapeur** dans les Turbines se fait selon une évolution isentropique
- 5) **L'augmentation de pression** par les Pompes se fait selon une évolution isentropique
- 6) La **condensation** de la vapeur se fait selon une évolution à pression constante
- 7) La **pression** régnant dans le **Dégazeur** et à sa sortie est égale à celle de sortie de la Pompe BP ($P[12] = P[10]$)

DÉTAIL DU TRAVAIL À FAIRE APRÈS LA RENCONTRE # 3

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

- Les caractéristiques thermodynamiques en chaque point du cycle
Débit - P - T - h - s - x - ρ
- La puissance brute produite des 2 Turbines entraînant la génératrice :
W_dot_Turbine (kW)
- La puissance utilisée par les 2 Pompes : **W_dot_Pompe** (kW)
- La puissance nette du cycle Rankine (Puissance arbre génératrice moins la puissance de la Pompe BP) : **W_dot_Rankine** (%)
- Le rapport de puissance utilisée par les Pompes sur la puissance produite par les Turbines : **Rapport_Pompe_Turbine** (%)
- L'énergie perdue par le Condenseur, vue de la vapeur
(**Q_dot_Condenseur1**) & vue de l'eau de refroidissement
(**Q_dot_Condenseur2**) (en kW)
- Le bilan énergétique du Condenseur : **BILAN_Condenseur**
(% de **Q_dot_Condenseur1**)
- La chaleur fournie au fluide par la Chaudière : **Q_dot_Chaudière** (kW)
- Le rendement thermique du cycle Rankine : **eta_Rankine** (%)

- Le rendement thermique du cycle de Carnot : **η_{Carnot}** (%)

Construire le diagramme (T – s) (température - entropie)
du cycle Rankine avec (2+1) Turbines, 2 Pompes et Dégazeur