

MEC1210

THERMODYNAMIQUE

PROJET

RENCONTRE # 2

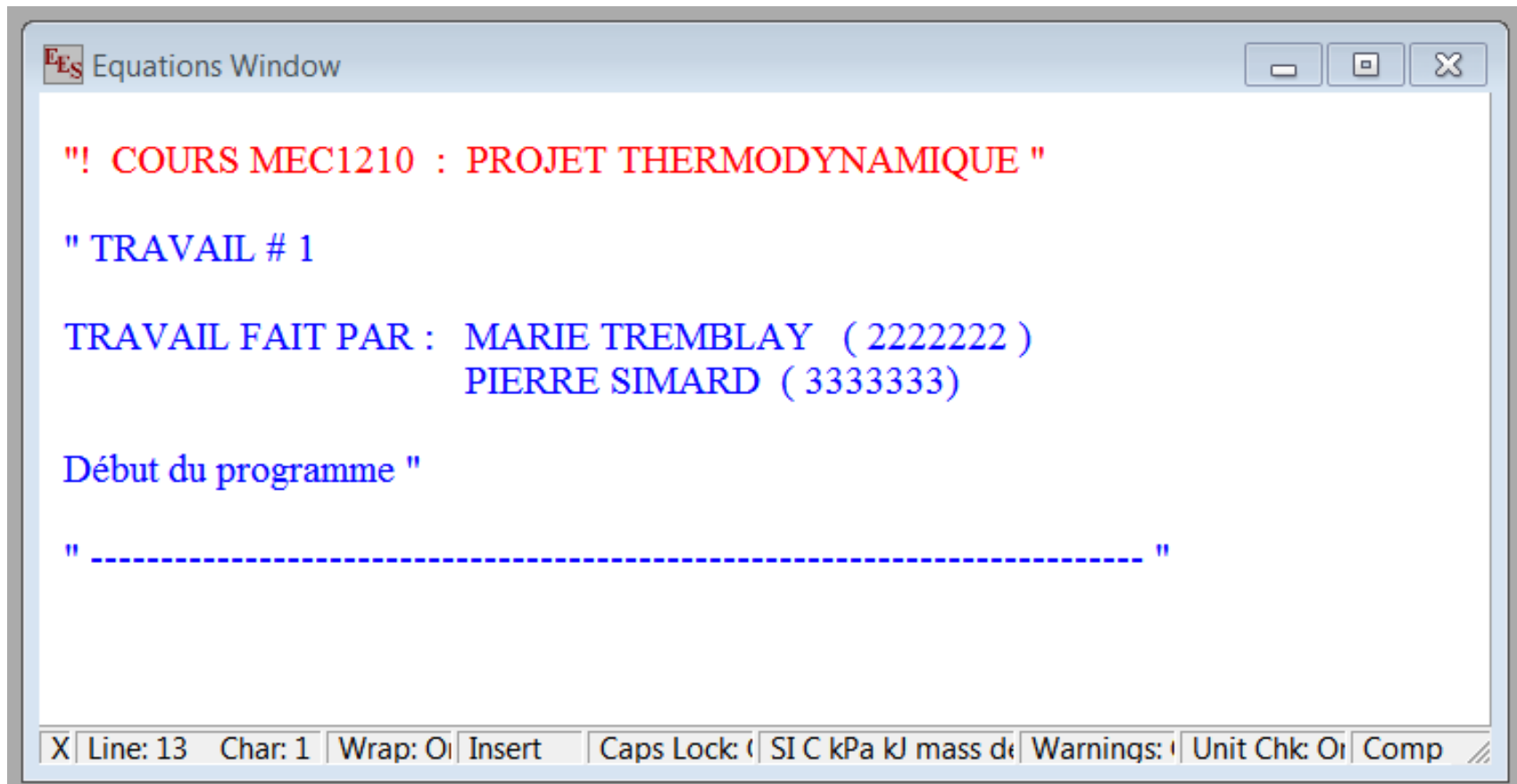
Cycle de Carnot et cycle Rankine

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

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



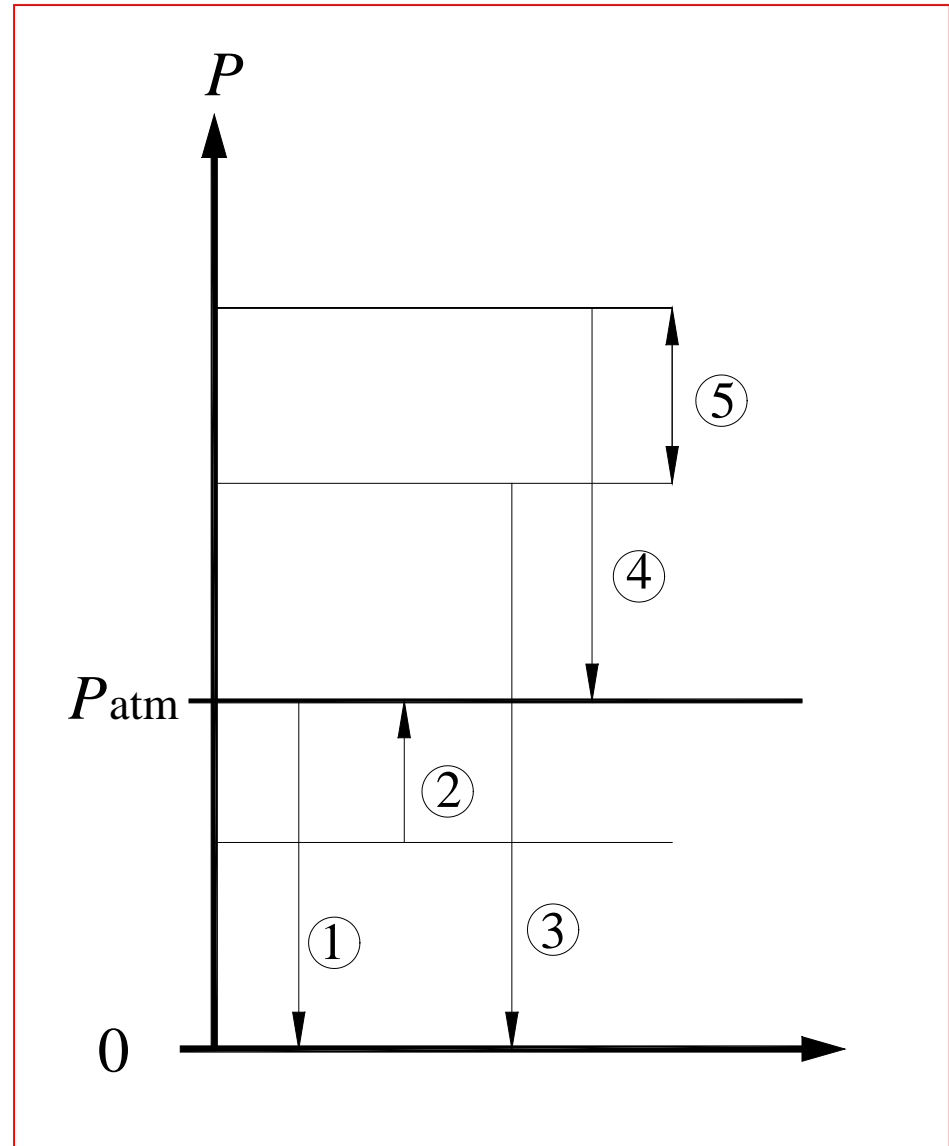
The screenshot shows the 'EES Equations Window' with the following text:

```
"! COURS MEC1210 : PROJET THERMODYNAMIQUE "  
  
" TRAVAIL # 1  
  
TRAVAIL FAIT PAR : MARIE TREMBLAY ( 2222222 )  
                   PIERRE SIMARD ( 3333333 )  
  
Début du programme "  
  
" ----- "
```

The status bar at the bottom indicates: X | Line: 13 | Char: 1 | Wrap: Off | Insert | Caps Lock: Off | SI C kPa kJ mass de | Warnings: Off | Unit Chk: Off | Comp

NOTION DE PRESSION

- ① - **Pression barométrique**
différence entre la pression de l'air ambiant et la pression nulle
- ② - **Pression de vide**
pression plus faible que la pression atmosphérique ('*vacuum*')
- ③ - **Pression absolue**
pression totale incluant la contribution de la pression atmosphérique
- ④ - **Pression manométrique**
pression s'exerçant en surplus de la pression atmosphérique
- ⑤ - **Pression différentielle**
différence entre deux pressions



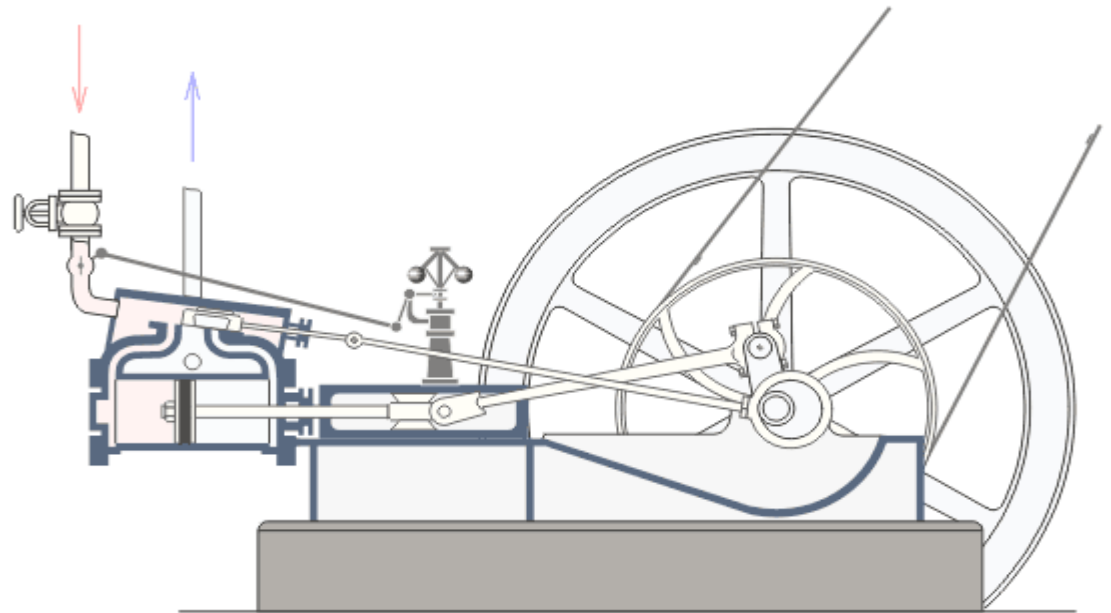
TRANSFORMATION DE LA CHALEUR EN TRAVAIL



Héron d'Alexandrie conçut et construisit au I^{er} siècle après J.C. son éolipyle qui, bien que considérée comme un jouet du fait de sa faible puissance, n'en était pas moins un moteur à vapeur, à réaction.

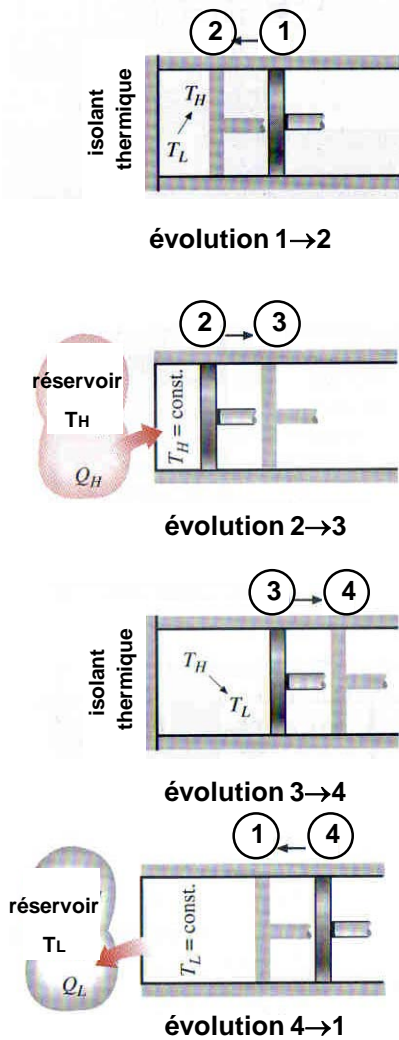
L'Écossais James Watt (1736-1819) modifie la machine à vapeur de Newcomen et développe plusieurs nouvelles composantes :

- Jonction à mouvement parallèle
- Chambre de condensation séparée
- Régulateur de vitesse à boules (utilisé sur les moulins)
- Isolation du cylindre de vapeur
- Piston à double action



CYCLE DE CARNOT

Cycle de production d'énergie composé de quatre évolutions idéales (*réversibles*) pour décrire un moteur thermique optimal.

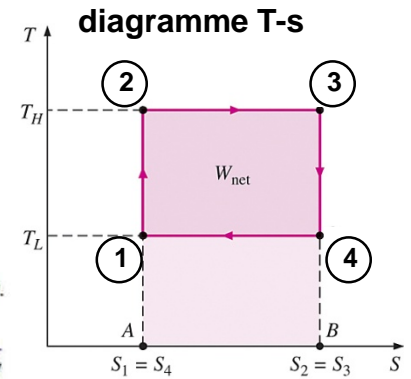
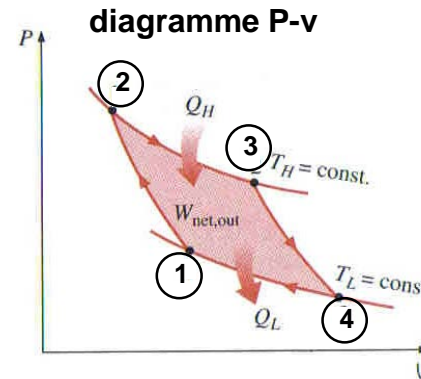
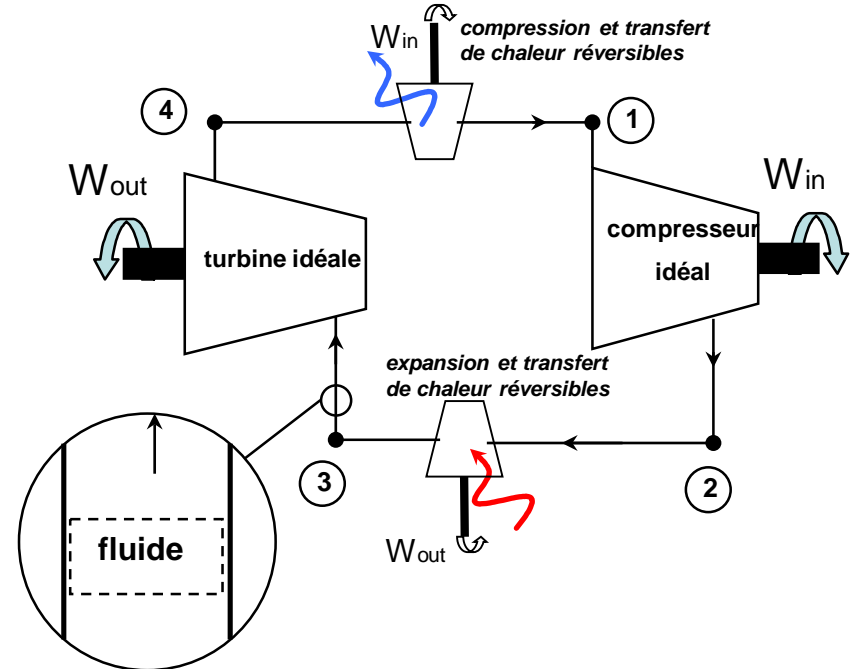


Compression **adiabatique** quasi-statique, sans pertes (isentropique)

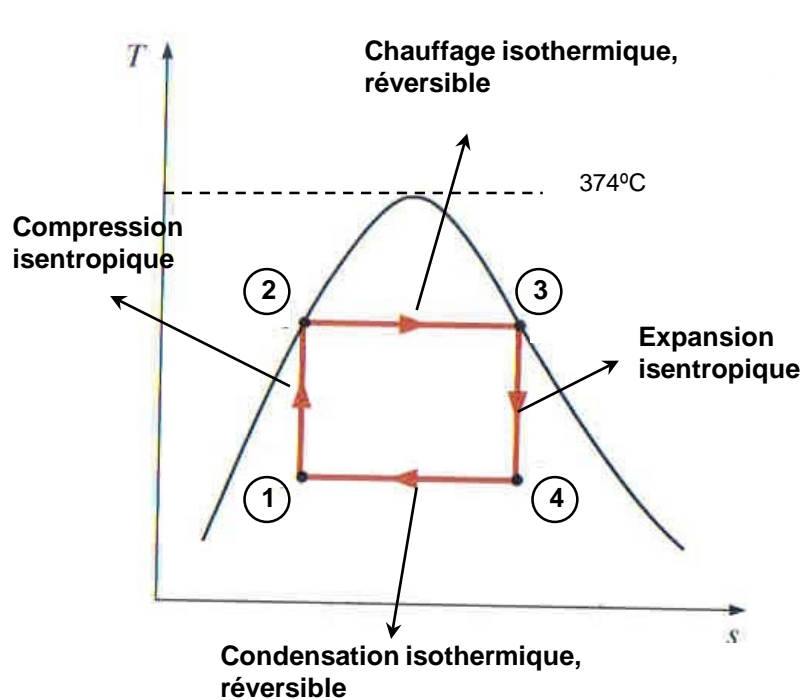
Expansion **isothermique** quasi-statique. Transfert de chaleur réversible au système

Expansion **adiabatique** quasi-statique, sans pertes (isentropique)

Compression **isothermique** quasi-statique. Transfert de chaleur réversible à l'environnement.



CYCLE CARNOT À VAPEUR



Rendement : $\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_{in}}$

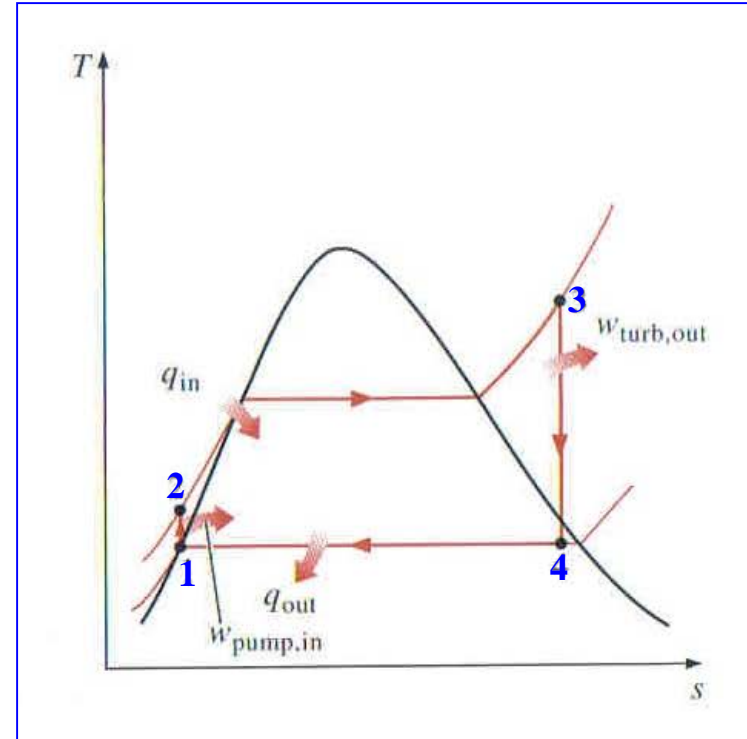
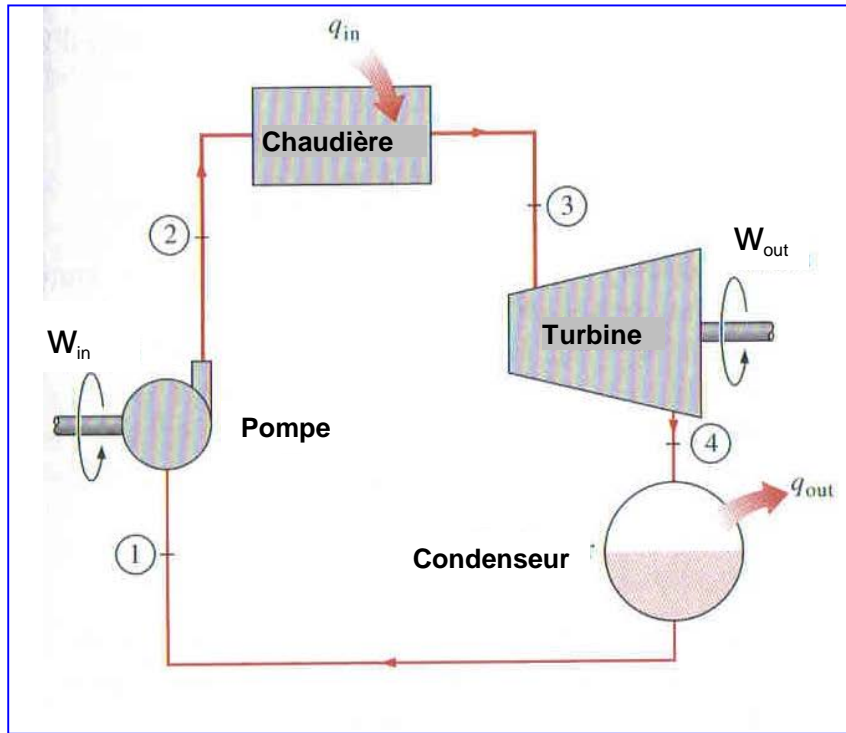
Le cycle Carnot donne le meilleur rendement pour un cycle opérant entre deux réservoirs (T_L , T_H).

Modèle idéal pour moteur thermique ? **Non !**
Pourquoi ?

Raisons:

- T_H limité ($< 374^\circ\text{C}$) donc rendement limité
- Titre (x) de l'eau à l'état 4 n'est pas assez grand (gouttelettes d'eau cause des dommages à la turbine)
- Difficile de contrôler le titre final de la condensation (état 1)
- Difficile de concevoir un compresseur pour deux phases (évolution 1-2)

CYCLE RANKINE ÉLÉMENTAIRE



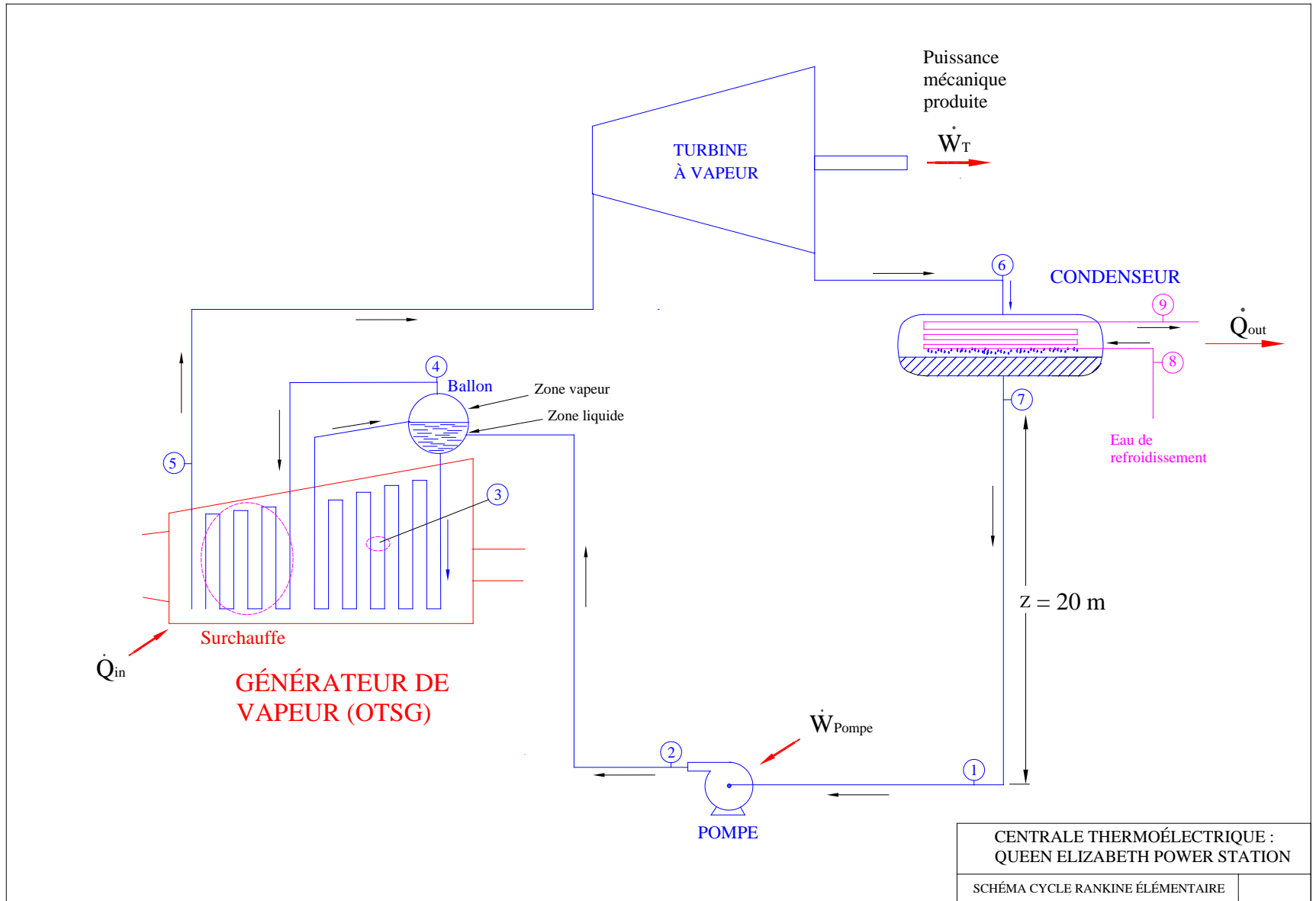
Évolution 1-2 : Compression isentropique du liquide saturé ----- **Pompe** $w_{in} = h_2 - h_1$
 Compression monophasique

Évolution 2-3 : Addition de chaleur à pression constante ----- **Chaudière** $q_{in} = h_3 - h_2$
 Chauffage du liquide – Ébullition - Surchauffe

Évolution 3-4 : Expansion isentropique à un mélange de titre (x) élevé ----- **Turbine** $w_{out} = h_3 - h_4$

Évolution 4-1 : Rejet de chaleur à pression constante ----- **Condenseur** $q_{out} = h_4 - h_1$
 Condensation jusqu'au liquide saturé

SCHÉMA DU CYCLE RANKINE ÉLÉMENTAIRE



NOTIONS THÉORIQUES SUPPLÉMENTAIRES

Rendement du cycle de Carnot : $\eta_{th,Ca} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$

Rendement du cycle Rankine : $\eta_{th,Ra} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$

Montée en pression par une colonne d'eau : $P_1 - P_7 = \rho \cdot g \cdot Z$

ρ : masse volumique de l'eau (kg/m³)

g : accélération gravitationnelle (m/s²)

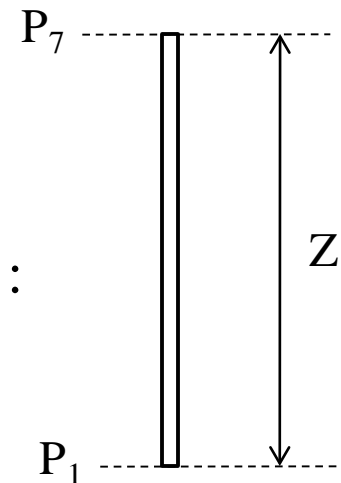
Z : différence de hauteur entre les 2 points (m)

Note : P_7 et P_1 doivent être en Pascal (Pa)

Premier principe de Thermo appliqué entre [1] et [7] :

$$q - w = h_1 - h_7 - (g * Z)$$

Attention aux unités !!



TRAVAIL DEMANDÉ APRÈS LA 2^e RENCONTRE

Terminer le **programme EES de calcul** des paramètres thermodynamiques du cycle Rankine élémentaire (idéal).

Vous devez utiliser les données suivantes :

POINT	DÉBIT	T	P *	TITRE
	(kg/s)	(°C)	(kPa)	(-)
1	67.78			
2			7500	
3				0
4				1
5		482.1		
6			15	
7				0
8	2211	18.6	300	
9		32.9	150	

* Pressions absolue

TRAVAIL DEMANDÉ APRÈS LA 2^e RENCONTRE (suite)

Vous devez utiliser les hypothèses suivantes :

- Le régime est **permanent**
- Les **pertes de pression** par frottement dans les conduites sont négligées
- Les **pertes de chaleur** sont négligées
- Chaque appareil est considéré comme **idéal**, rendement de 100 %
- La **chaleur fournie** au fluide dans la chaudière se fait à pression constante
- La **détente de la vapeur** dans la turbine se fait selon une évolution isentropique
- La **condensation** de la vapeur se fait selon une évolution à pression constante
- L'augmentation de **pression par la pompe** se fait selon une évolution isentropique

TRAVAIL DEMANDÉ APRÈS LA 2^e RENCONTRE (suite)

- **Calculer** les paramètres thermodynamiques aux différents points du cycle Rankine élémentaire (9 points)
- **Construire le diagramme (T – S)** (température - entropie) de ce cycle de base. Ne pas oublier que la construction de ce diagramme nécessite que les paramètres soient sous forme de vecteurs (ex : $T[5]$).
- À partir des paramètres thermodynamiques, principalement les enthalpies (h), de chaque point **vous devez calculer** :
 - 1) La puissance consommée par la pompe (kW)
 - 2) La puissance brute de la turbine et la puissance nette du cycle (kW)
 - 3) Le rapport de puissance entre la pompe et la turbine (%)
 - 4) La chaleur fournie par le générateur de vapeur (kW)
 - 5) La chaleur perdue au condenseur , côté vapeur et gagnée côté eau (kW)
 - 6) Le rendement thermique du cycle Rankine élémentaire (idéal) (%)
 - 7) Le rendement du cycle de Carnot correspondant (utiliser la température de l'eau de refroidissement comme puits de chaleur) (%)

ÉTAPES DE DÉMARRAGE DE VOTRE TRAVAIL

- Ouvrir le **logiciel EES**
- Définir les **unités** utilisées : SI - K - Base massique (kg) - kJ - kPa
- Écrire l'**entête** du travail (en commentaire) comprenant :
 - Titre - Nom prénom et matricule des étudiants
 - Numéro du travail à remettre (de 1 à 5)
- Créer le tableau « **Lookup Table** » et y entrer les données (ce n'est pas un tableau de résultats)
- Dans la fenêtre « Equations » entrer les lignes d'assignation qui permettent de récupérer les **données** du tableau Lookup et convertir les °C en Kelvin
- Tous les paramètres doivent être sous forme **Vecteurs** : T[1]
- Calculer les **paramètres thermodynamiques** pour chaque point du cycle :
 - Enthalpie - Entropie - Titre - etc
- Tracer le **diagramme (T – s)** du cycle
- Calculer les **paramètres globaux** du cycle :
 - Puissance de la pompe - Puissance de la turbine à vapeur - etc

ÉTAPES DE DÉMARRAGE DE VOTRE TRAVAIL (suite)

Mode de solution par EES :

Solution du système d'équations :

- Résolution globalement lorsque l'ensemble des lignes d'équations est entré au programme
- Ce n'est **pas une solution séquentielle**, mais une solution globale
- Il ne faut pas connaître toutes les valeurs en un point pour pouvoir passer au point suivant

Entrée des équations :

Pour chaque point : Certaines données sont accessibles -- Plusieurs données sont inconnues

Il faut travailler **Point par Point** en commençant par le point [1]

Attention pour le cycle élémentaire : Débit massique en [2] = Débit en [1] =

Il n'y a pas de pertes de masse ni de gain en aucun point

Dans le programme EES la ligne définissant le débit massique en 2 devrait se lire ainsi :

$$m_dot[2] = m_dot[1]$$

Symboles à utiliser :

[
Température : T[1] ; Pression : P[1] ; Débit : m_dot[1] ; Enthalpie : h[1]
Titre : x[1] ; Densité : rho[1] ; Entropie : s[1]
Puissance : W_dot_Pompe ; Chaleur : Q_dot_Générateur
Rendement : eta_Rankine