

**MEC1210**

**THERMODYNAMIQUE**

**PROJET**

**RENCONTRE # 2**

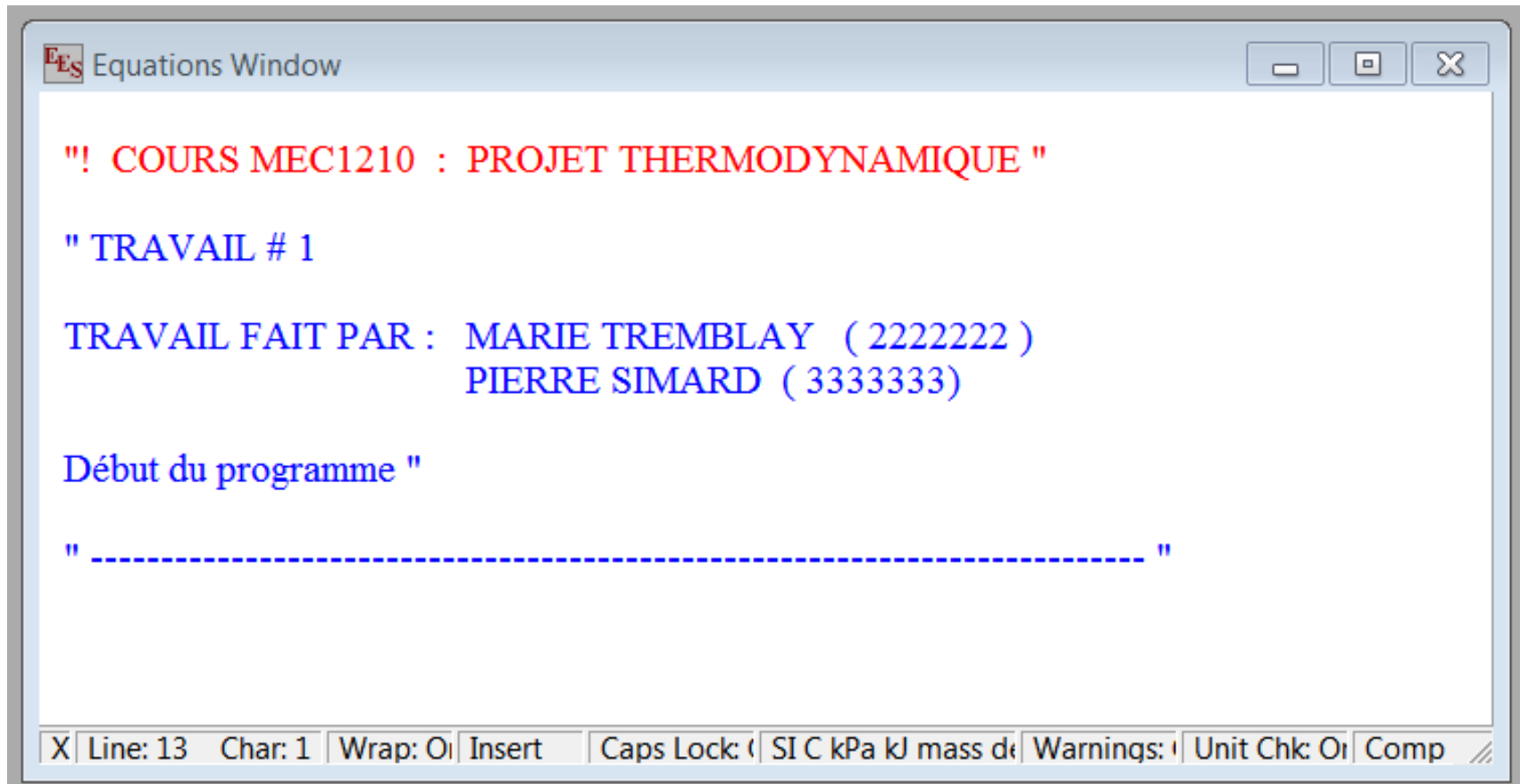
**Cycle de Carnot et cycle Rankine**

# 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 :



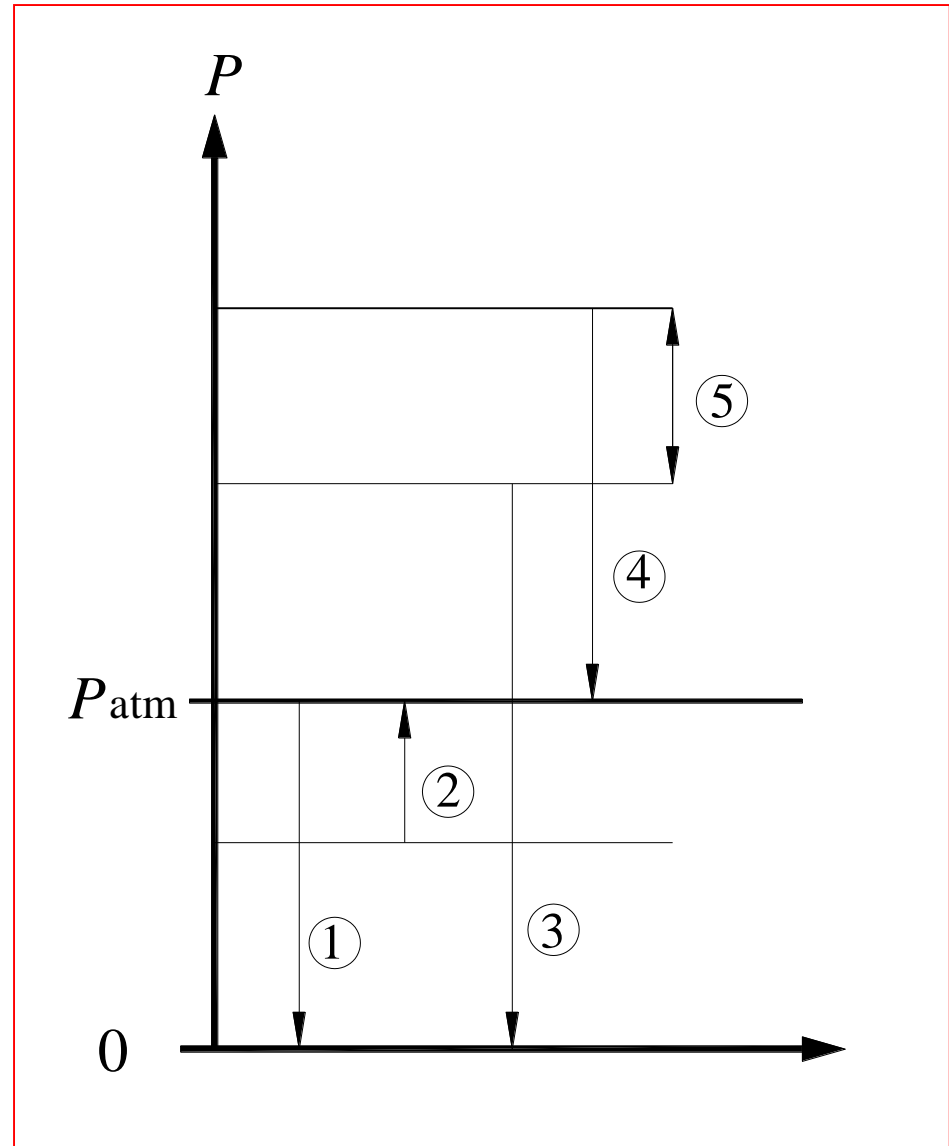
The screenshot shows the 'EES Equations Window' with the following text:

```
"! 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: O | Insert | Caps Lock: ( | SI C kPa kJ mass d | Warnings: | Unit Chk: O | 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



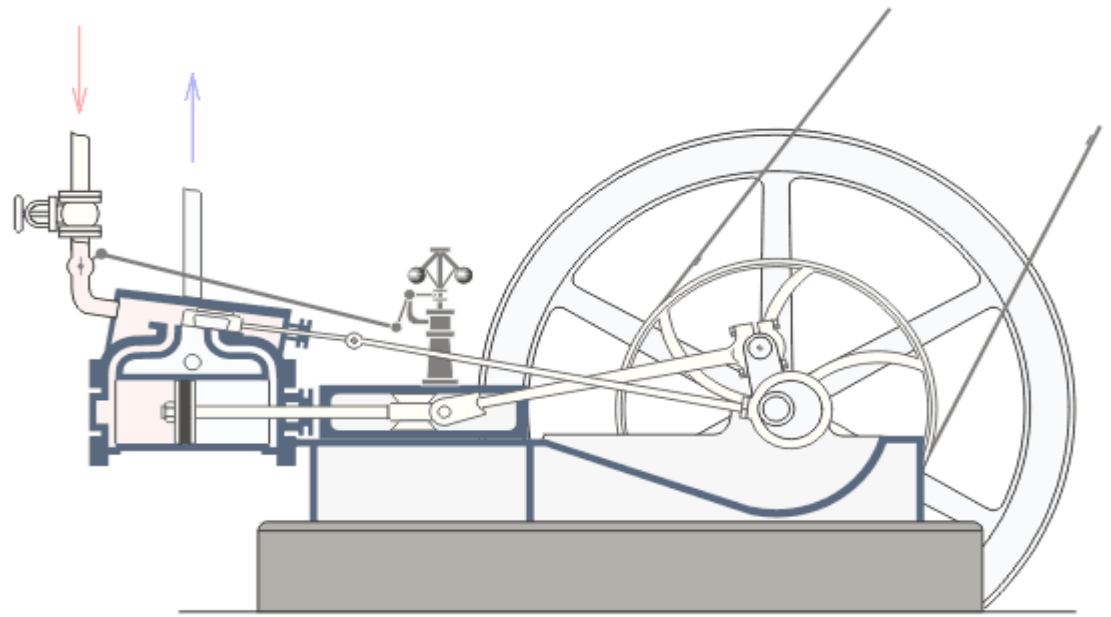
# TRANSFORMATION DE LA CHALEUR EN TRAVAIL



Héron d'Alexandrie conçut et construisit au I<sup>er</sup> 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.

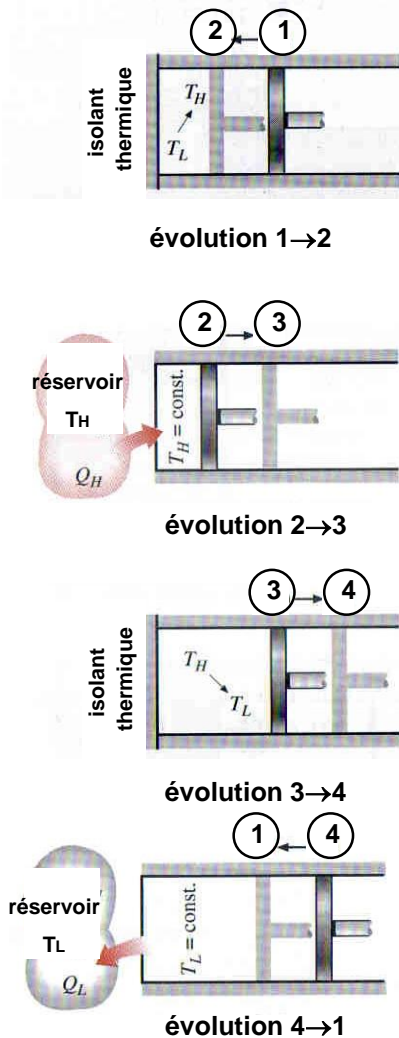
L'Écossais James Watt (1736-1819) modifie la machine à vapeur de Newcomen et développe plusieurs nouvelles composantes :

- 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.

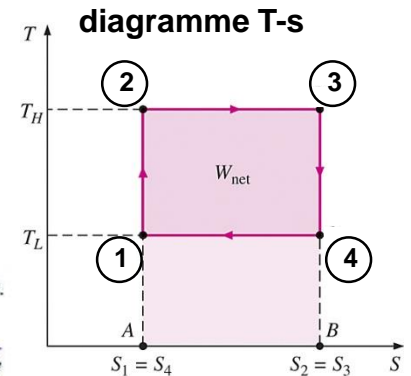
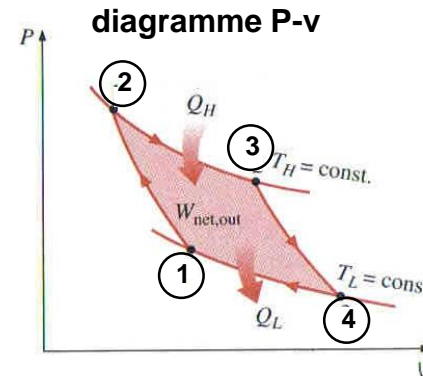
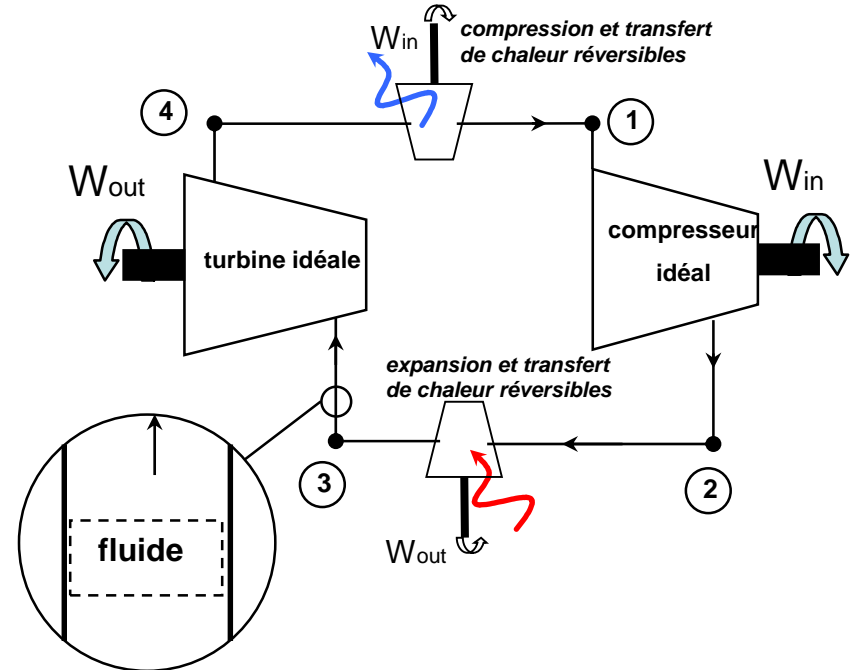


Compression **adiabatique** quasi-statique, sans pertes (isentropique)

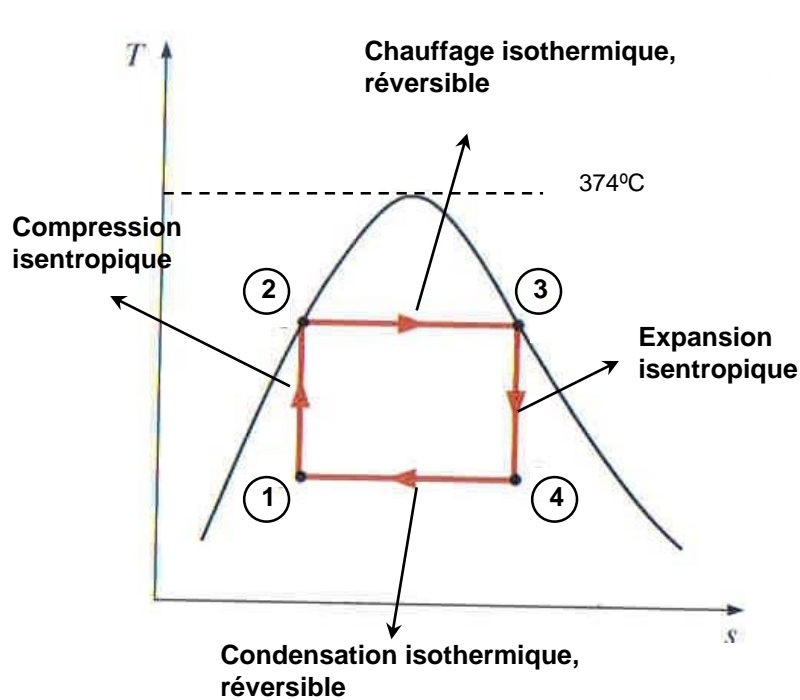
Expansion **isothermique** quasi-statique. Transfert de chaleur réversible au système

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

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



# CYCLE CARNOT À VAPEUR



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

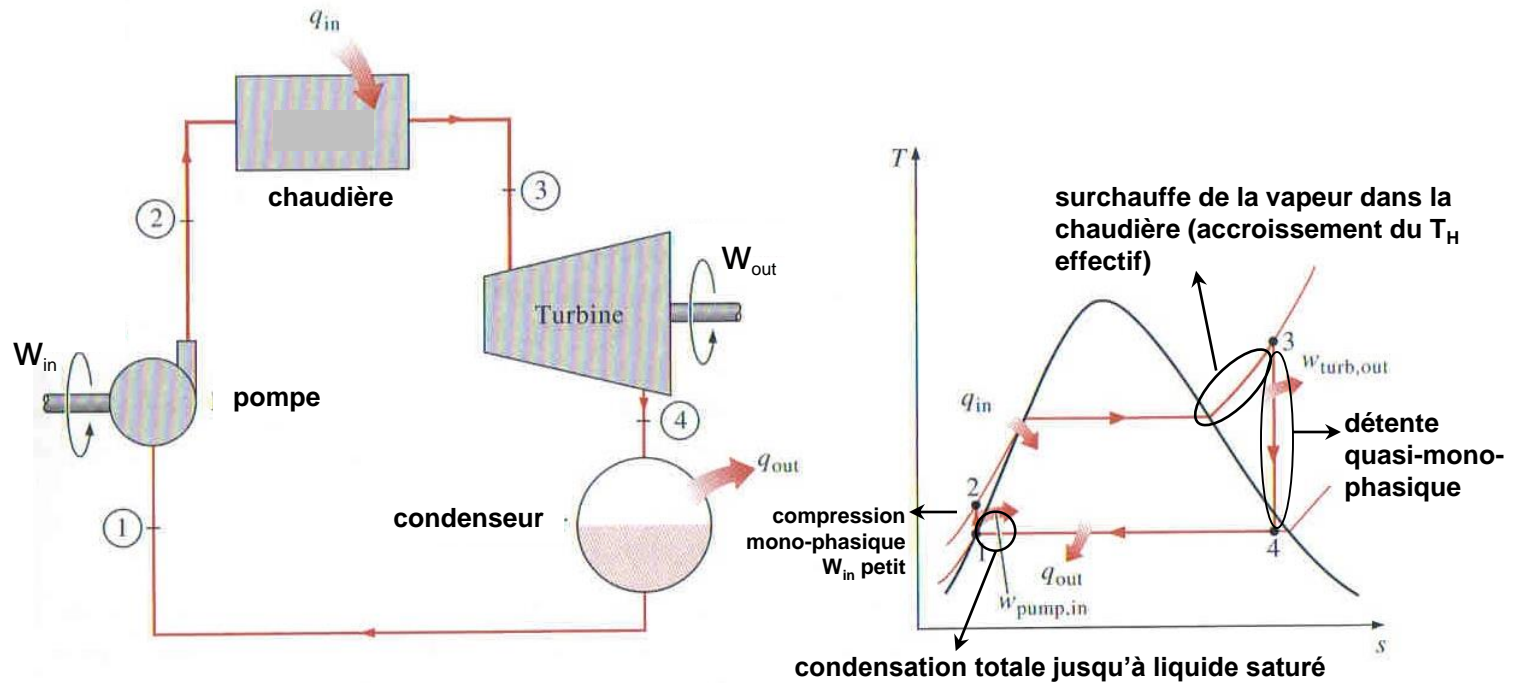
Le cycle Carnot donne le meilleur rendement pour un cycle opérant entre deux réservoirs ( $T_L$ ,  $T_H$ ).

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**)

$$w_{in} = h_2 - h_1$$

Évolution 2 → 3: addition de chaleur à pression constante (**chaudière**)

$$q_{in} = h_3 - h_2$$

Évolution 3 → 4: expansion isentropique à un mélange saturé de titre (x) élevé (**turbine**)

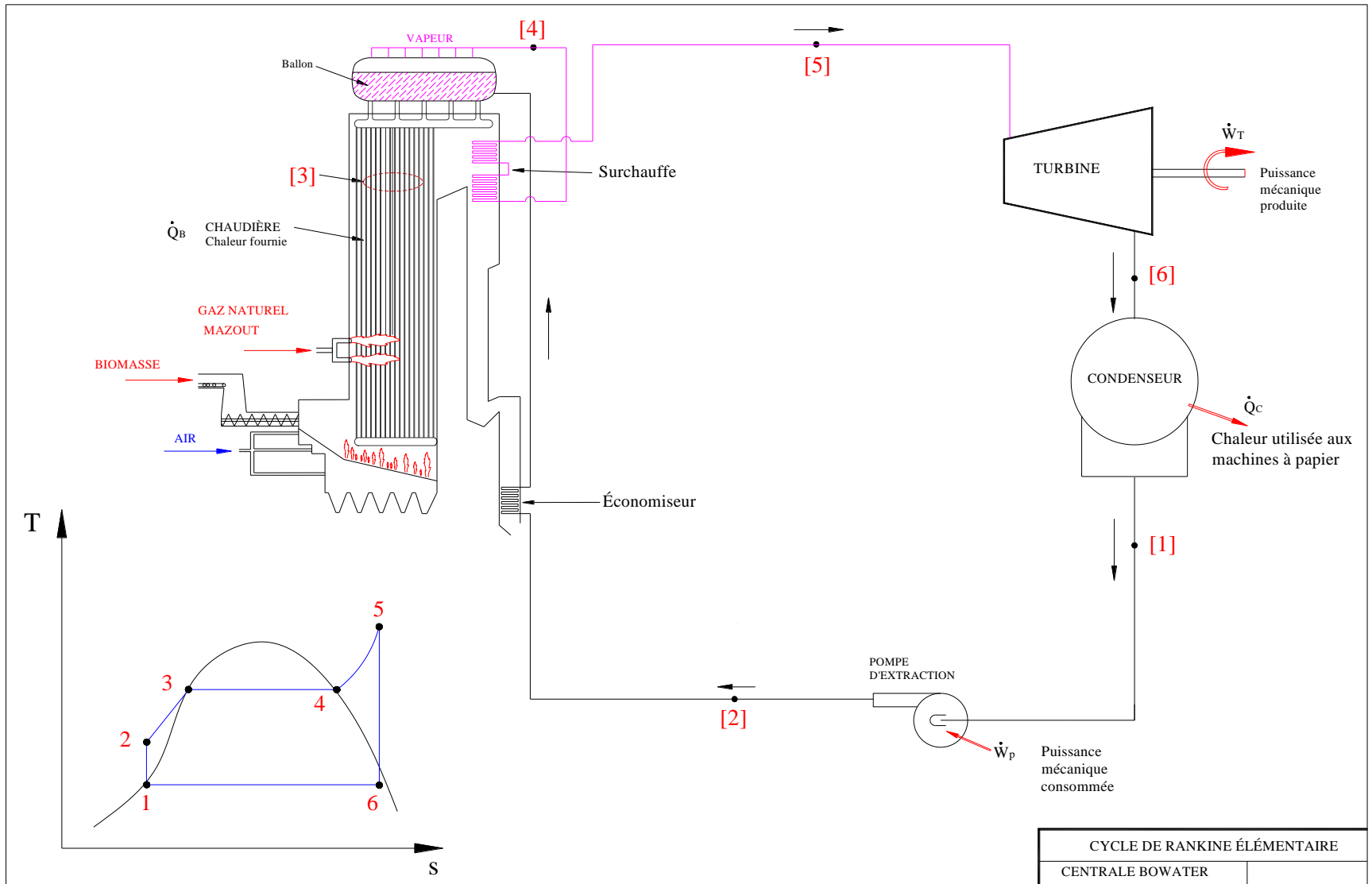
$$w_{out} = h_3 - h_4$$

Évolution 4 → 1: rejet de chaleur à pression constante (**condenseur**)

$$q_{out} = h_4 - h_1$$



# CYCLE RANKINE ÉLÉMENTAIRE



# NOTION DE RENDEMENT THERMIQUE

Rendement du cycle de Carnot :

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

Rendement du cycle de Rankine :

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

# TRAVAIL DEMANDÉ APRÈS LA 2<sup>e</sup> RENCONTRE

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

Vous devez utiliser les données suivantes tirées du tableau de l'usine Bowater :

POINT	NOM	ÉTAT	DÉBIT (kg / s)	P* (kPa)	T (°C)	TITRE (-)
1	Sortie du Condenseur	Liquide	40.61			
2	Sortie de la Pompe	Liquide				
3	Point de transition Liquide – Vapeur	Liquide				0
4	Sortie du Ballon	Vapeur saturée				1
5	Entrée de la Turbine	Vapeur surchauffée		9650	460	
6	Entrée du condenseur	Mélange diphasique		240		

## NOTES IMPORTANTES :

\*Toutes les pressions sont en valeur manométrique

Pression barométrique de référence = 101.3 kPa

Température de l'air ambiant = 20.0 °C

## TRAVAIL DEMANDÉ APRÈS LA 2<sup>e</sup> 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
- La **chaleur fournie** au fluide dans la chaudière (états [2] à [5]) 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
- Le fluide sort du condenseur sous forme de liquide saturé
- L'augmentation de **pression par la pompe** se fait selon une évolution **isentropique**

## TRAVAIL DEMANDÉ APRÈS LA 2<sup>e</sup> RENCONTRE (suite)

- **Calculer** les paramètres thermodynamiques aux différents points du cycle Rankine élémentaire
- **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 circulatrice (kW)  
 $W_{\text{dot}_P} = m_{\text{dot}[1]} * (h[2] - h[1])$
  - 2) La puissance brute de la turbine et la puissance nette du cycle (kW)  
 $W_{\text{dot}_T} = m_{\text{dot}[5]} * (h[5] - h[6])$        $W_{\text{dot}_{\text{net}}} = W_{\text{dot}_T} - W_{\text{dot}_P}$
  - 3) Le taux de transfert de chaleur fournie par la chaudière (kW)  
 $Q_{\text{dot}_B} = m_{\text{dot}[2]} * (h[5] - h[2])$
  - 4) Le taux de transfert de chaleur perdue au condenseur (kW)  
 $Q_{\text{dot}_C} = m_{\text{dot}[6]} * (h[6] - h[1])$
  - 5) Le rendement thermique du cycle Rankine élémentaire (idéal) (%)  
 $\eta_{\text{Rankine}} = ( W_{\text{dot}_{\text{net}}} / Q_{\text{dot}_B} ) * \text{Convert}(-, \%)$
  - 6) Le rendement du cycle de Carnot correspondant (utiliser l'air comme puits de chaleur) (%)  
 $\eta_{\text{Carnot}} = ( 1 - ( T_a / T[5] ) ) * \text{Convert}(-, \%)$

# 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 ; Taux de chaleur fournie: Q\_dot\_Générateur  
Rendement : eta\_Rankine