

**MEC1210**

**THERMODYNAMIQUE**

**PROJET**

**RENCONTRE # 2**

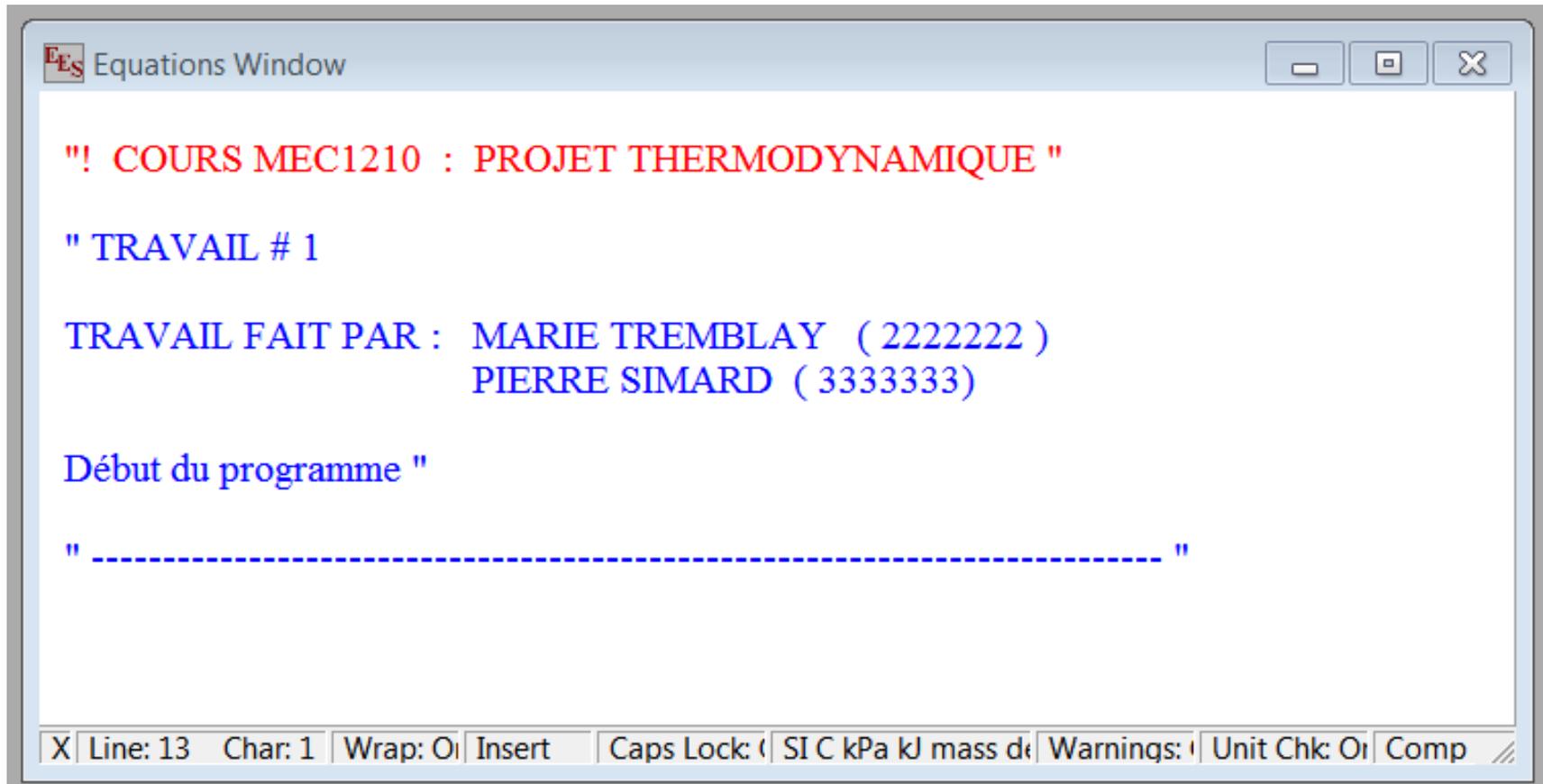
**Cycle de Carnot et cycle Rankine**

# 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 'Equations Window' in EES software. The window title is 'EES Equations Window'. The text inside the window is as follows:

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

At the bottom of the window, there is a status bar with the following information: 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

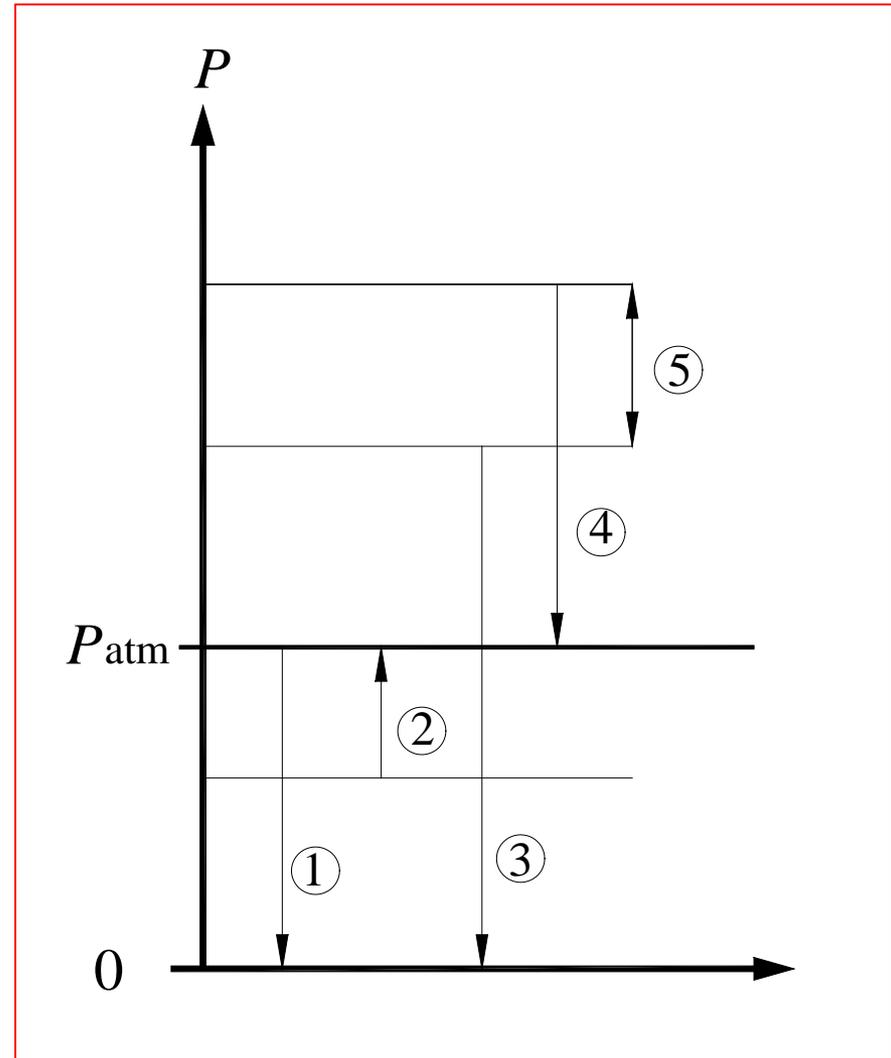
pression totale incluant la contribution de la pression atmosphérique

## ④ - Pression manométrique

pression s'exerçant en surplus de la pression atmosphérique

## ⑤ - Pression différentielle

différence entre deux pressions



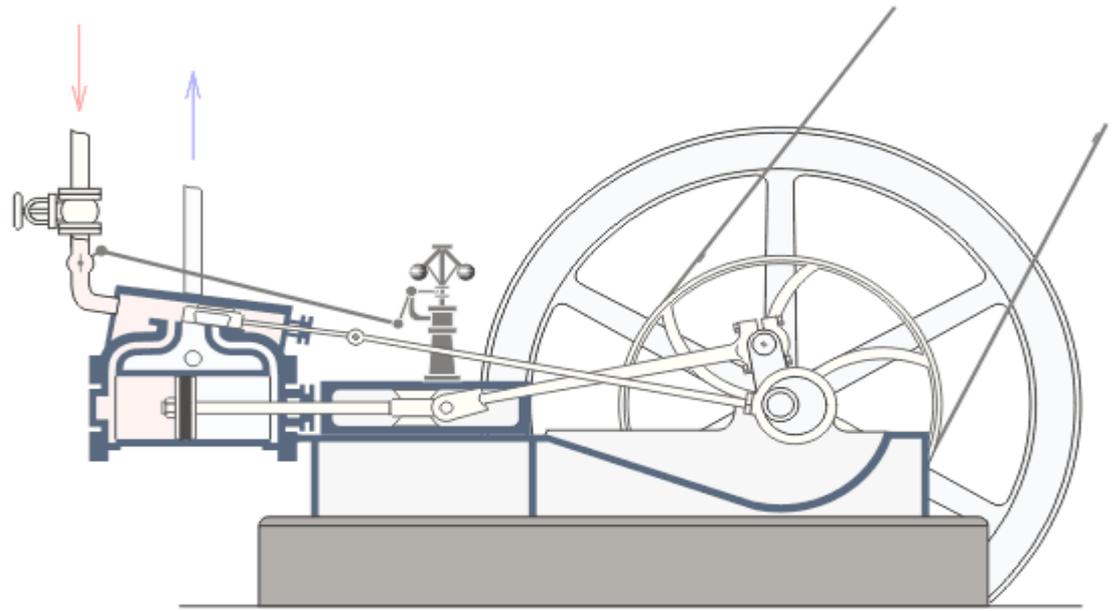
# TRANSFORMATION DE LA CHALEUR EN TRAVAIL



Héron d'Alexandrie conçoit et construit 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.

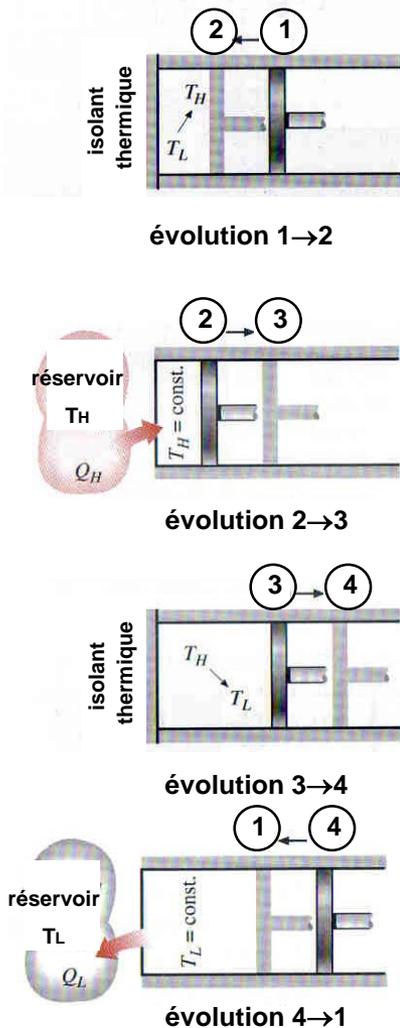
L'Écossais James Watt (1736-1819) modifie la machine à vapeur de Newcomen et développe plusieurs nouvelles composantes :

- 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.

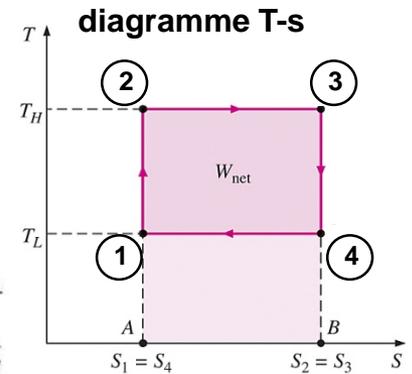
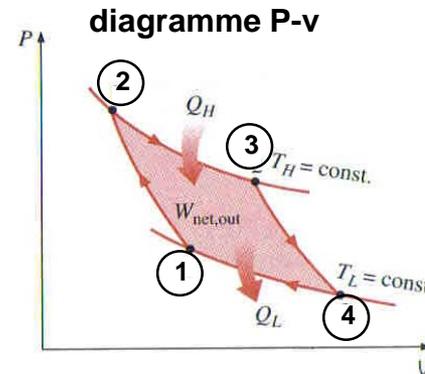
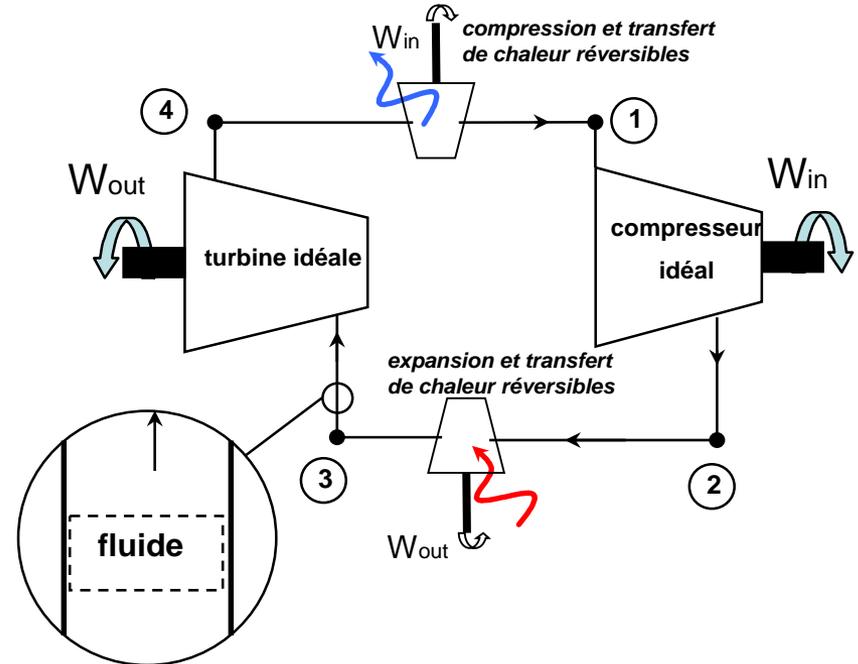


Compression **adiabatique** quasi-statique, sans pertes (isentropique)

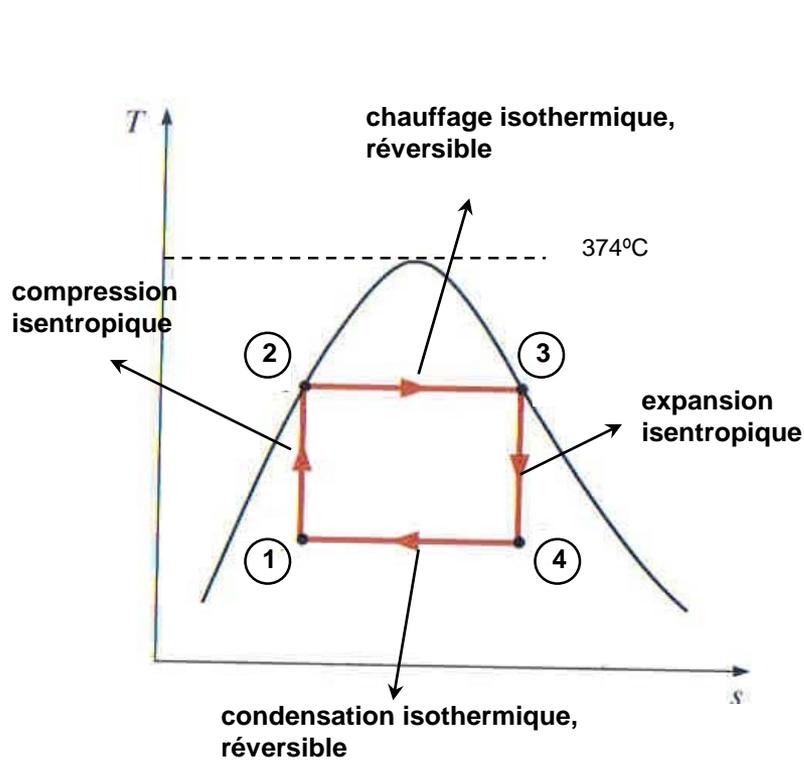
Expansion **isothermique** quasi-statique. Transfert de chaleur réversible au système

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

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



# CYCLE CARNOT À VAPEUR



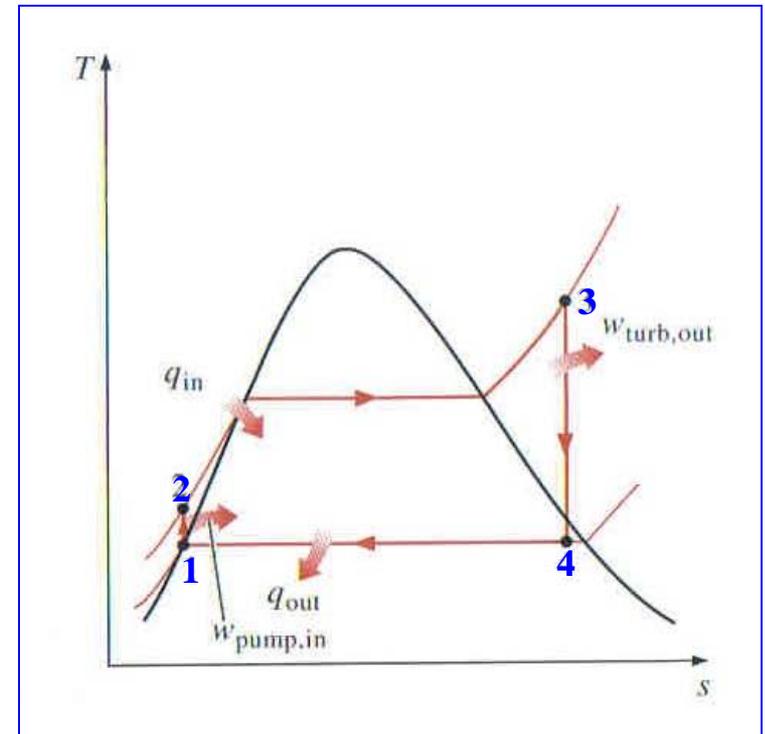
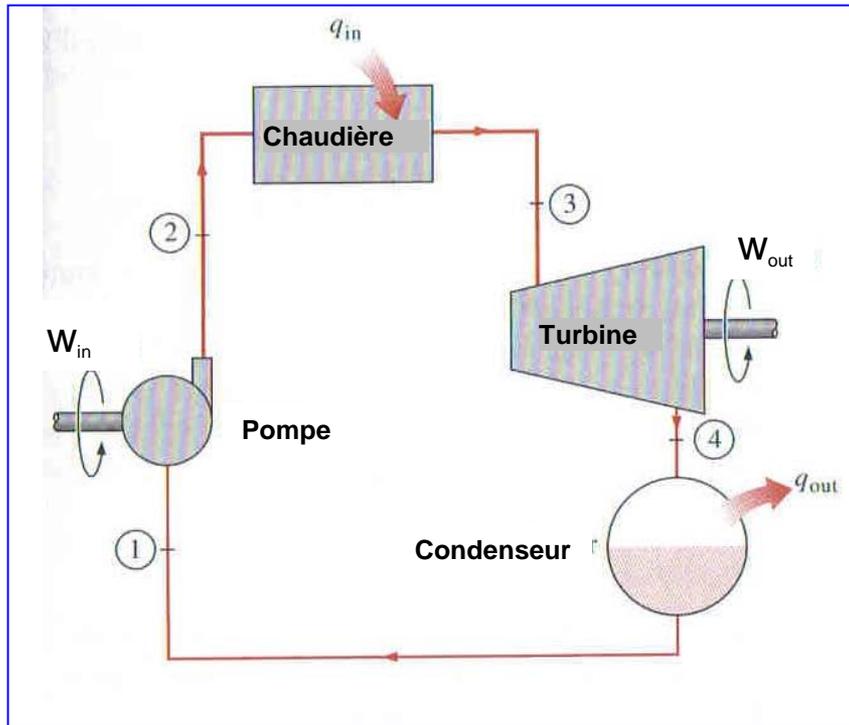
Rendement :  $\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_{in}} = \left( 1 - \frac{T_L}{T_H} \right)$  *cycle Carnot*

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



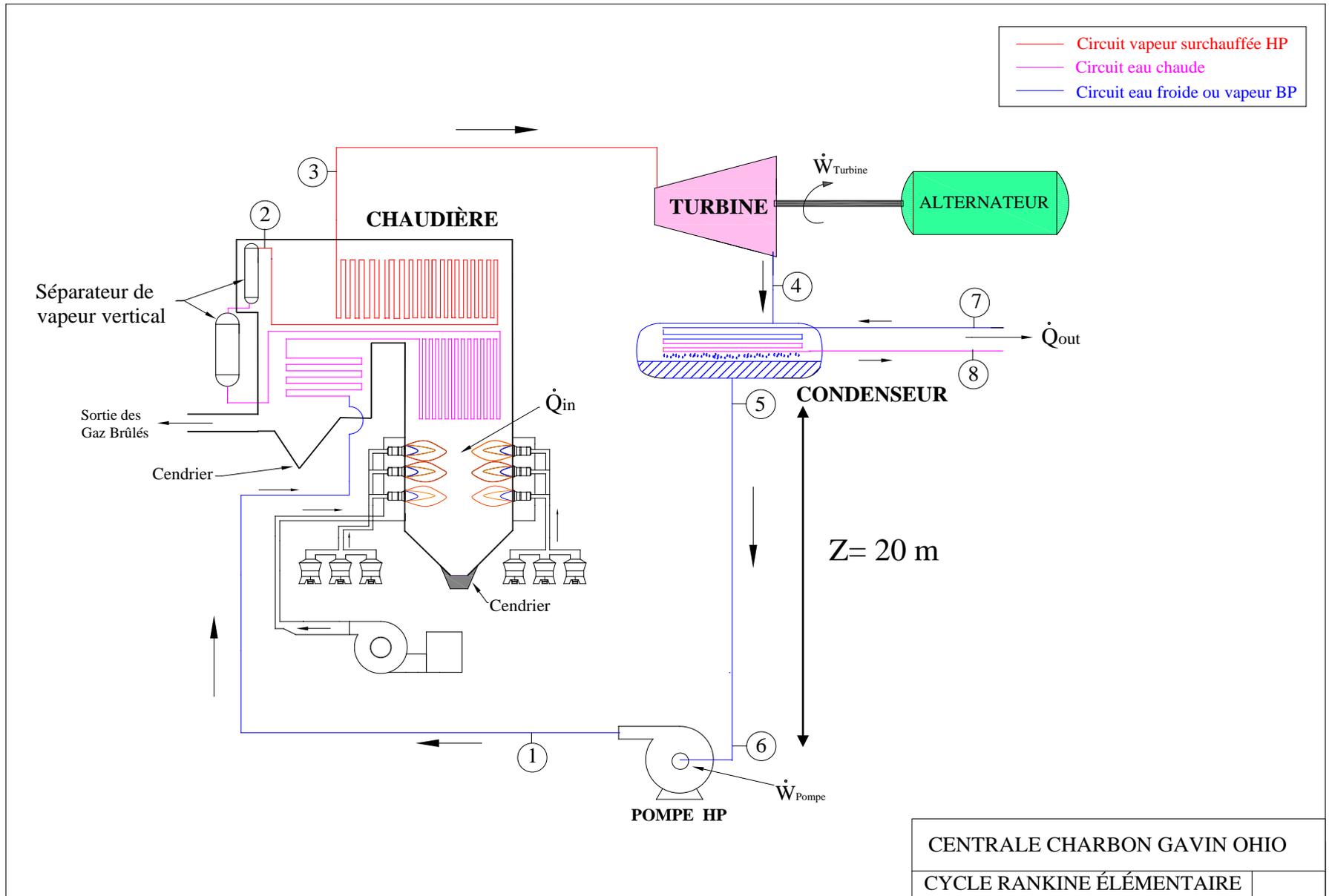
Évolution 1-2 : Compression isentropique du liquide saturé ----- **Pompe** .....  $w_{in} = h_2 - h_1$   
 Compression monophasique

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

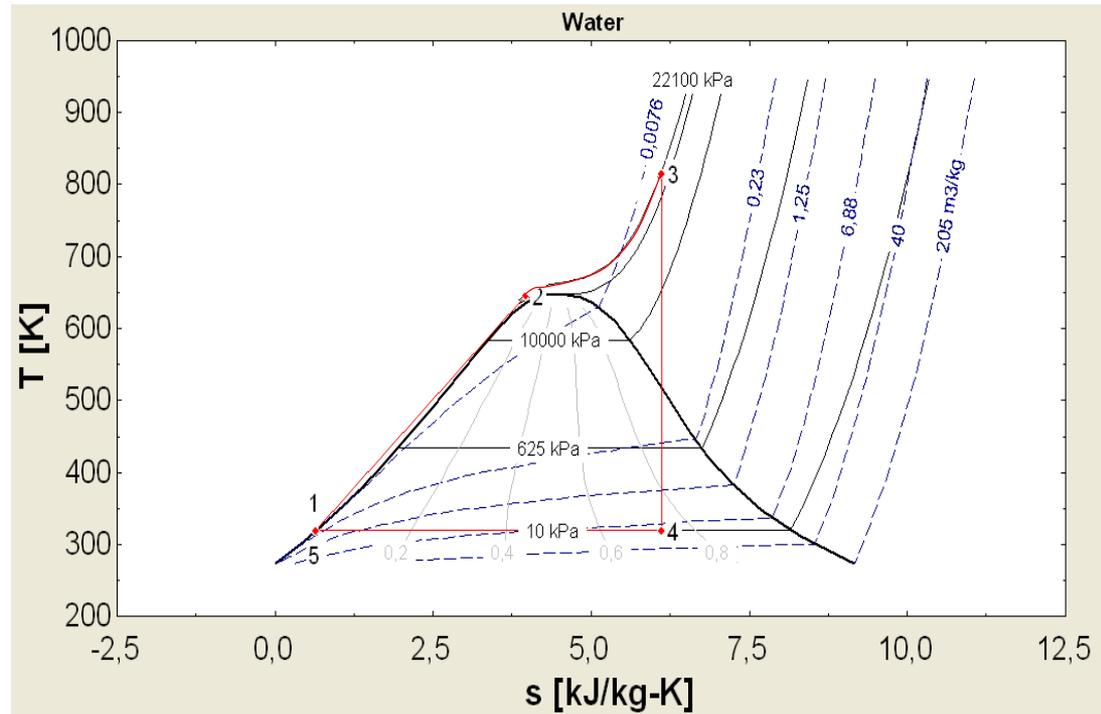


# CENTRALE À CYCLE SUPER-CRITIQUE

- La centrale utilise un cycle supercritique afin d'augmenter l'**efficacité** globale du cycle.
- Cela s'explique du fait que le **travail utile**, ou l'aire sous la courbe du diagramme T-s augmente.
- L'aire sous la courbe représente le travail mécanique idéal du cycle.
- Comme montré sur le diagramme la courbe de l'eau chauffée passe **au-dessus du point critique** vapeur-liquide de l'eau.

## FLUIDE SUPER-CRITIQUE

- Un fluide supercritique est caractérisé par une :
  - Densité
  - Viscosité
  - Autres propriétésqui sont **intermédiaires** entre celles de l'état **gazeux** et **liquide** de ce fluide.



# 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 :  $P_6 - P_5 = \rho \cdot g \cdot Z$

$\rho$  : masse volumique de l'eau (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : accélération gravitationnelle (m/s<sup>2</sup>)

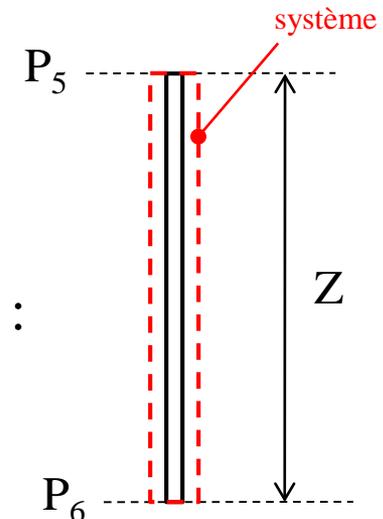
$Z$  : différence de hauteur entre les 2 points (m)

Note :  $P_5$  et  $P_6$  doivent être en Pascal (Pa)

Premier principe de Thermo appliqué entre [5] et [6] :

$$q - w = h_6 - h_5 - (g * Z)$$

Attention aux unités !!



# 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 :

POINT	DÉBIT	T	P *	TITRE
	(kg/s)	( °C )	(kPa)	( - )
1	1234		26500	
2		374.1		
3		543.1		
4			10	
5				0
6				
7	45500	15.3	200	
8		26.5	110	

\* Pressions absolues

Hauteur du condenseur par rapport à la pompe:  $Z= 20$  m

## 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
- 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 dans le condenseur 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<sup>e</sup> RENCONTRE (suite)

- **Calculer** les paramètres thermodynamiques aux différents points du cycle Rankine élémentaire ( 8 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** (utiliser les symboles proposés) :
  - 1) La puissance consommée par la Pompe : **W\_dot\_Pompe** (kW)
  - 2) La puissance brute de la Turbine : **W\_dot\_Turbine** (kW)
  - 3) La puissance nette du cycle : **W\_dot\_Rankine** (kW)
  - 4) La chaleur fournie par la Chaudière : **Q\_dot\_Chaudière** (kW)
  - 5) La chaleur perdue au condenseur : **Q\_dot\_Condenseur** (kW)
  - 6) Le rendement thermique du cycle Rankine élémentaire : **eta\_Rankine** (%)
  - 7) Le rendement du cycle de Carnot correspondant (utiliser la température de l'eau de refroidissement comme puits de chaleur) : **eta\_Carnot** (%)

# ÉTAPES DE DÉMARRAGE DE VOTRE TRAVAIL

- Ouvrir le **logiciel EES**
- Définir les **unités** utilisées : SI - K - Base massique - 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)
  - Hypothèses utilisées
- 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 ....