

CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-vapeur)

Centrales thermiques à vapeur

Installations hybrides (solaire-gaz)

Installations à cogénération

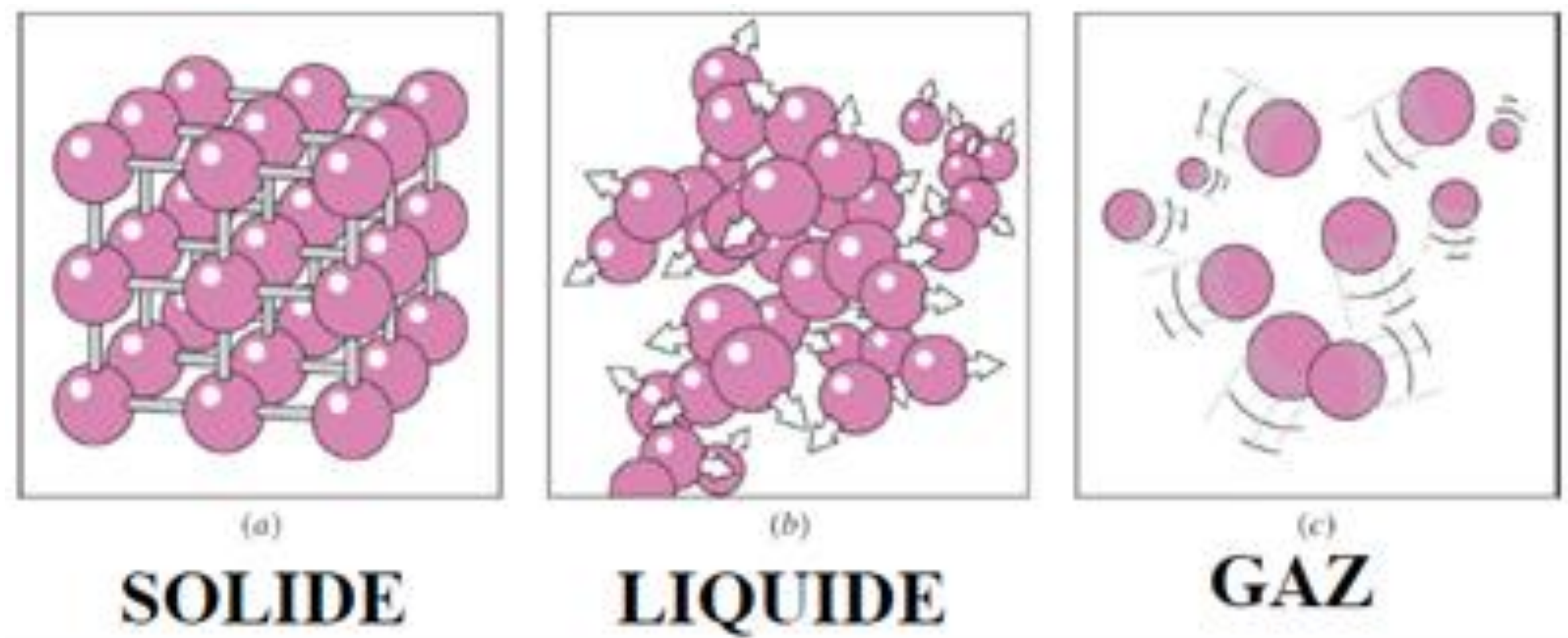
Notion sur les centrales nucléaires.

Rappels sur le changement de phase

# Substance Pure

Elle peut exister sous différentes phases

## CHANGEMENT DE PHASE LIQUIDE-GAZ



CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur

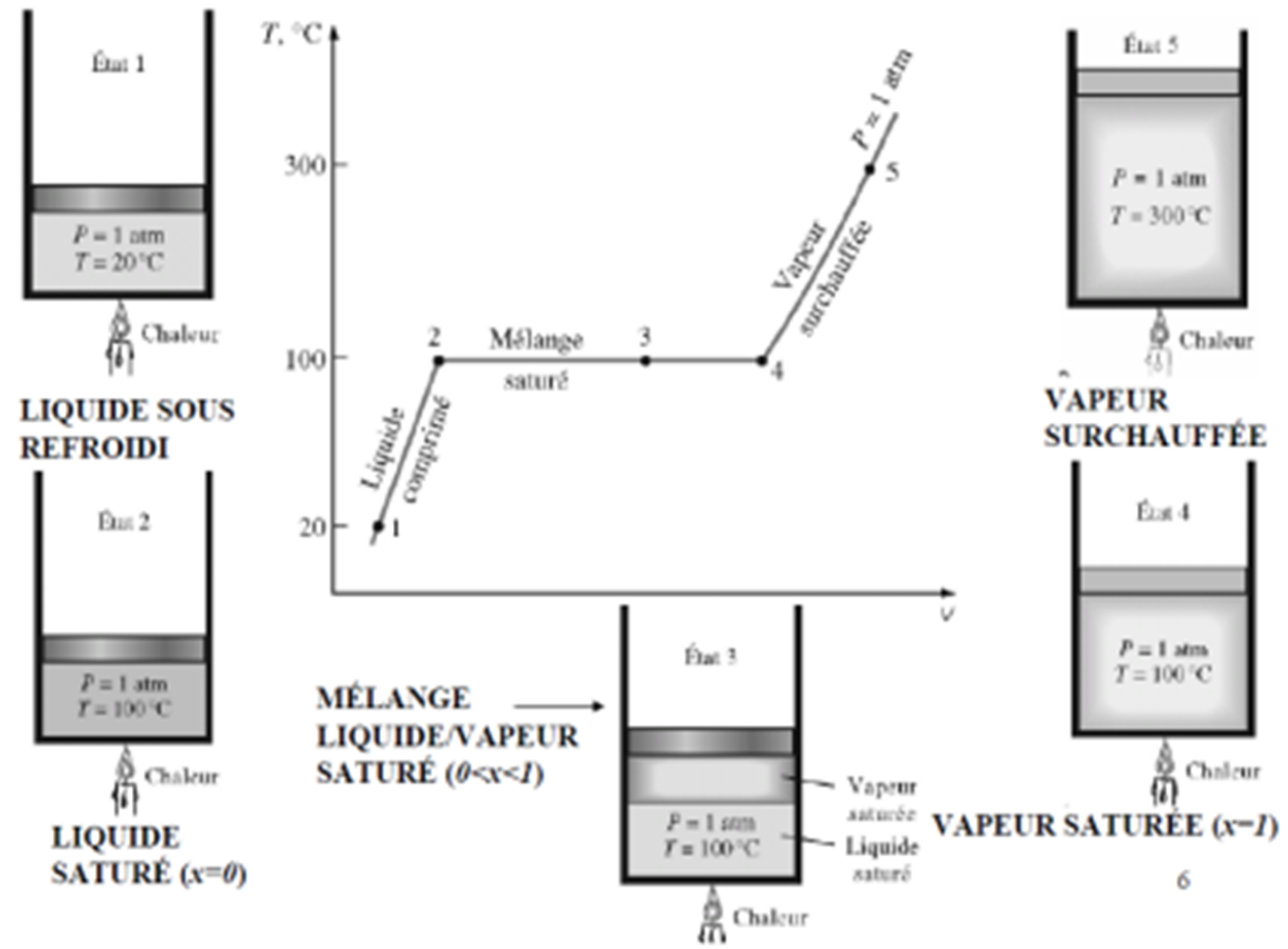
Cycle mixte (gaz-vapeur)

Centrales thermiques à vapeur

Installations hybrides (solaire-gaz)

Installations à cogénération

Notion sur les centrales nucléaires.



Rappels sur le changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-vapeur)

Centrales thermiques à vapeur

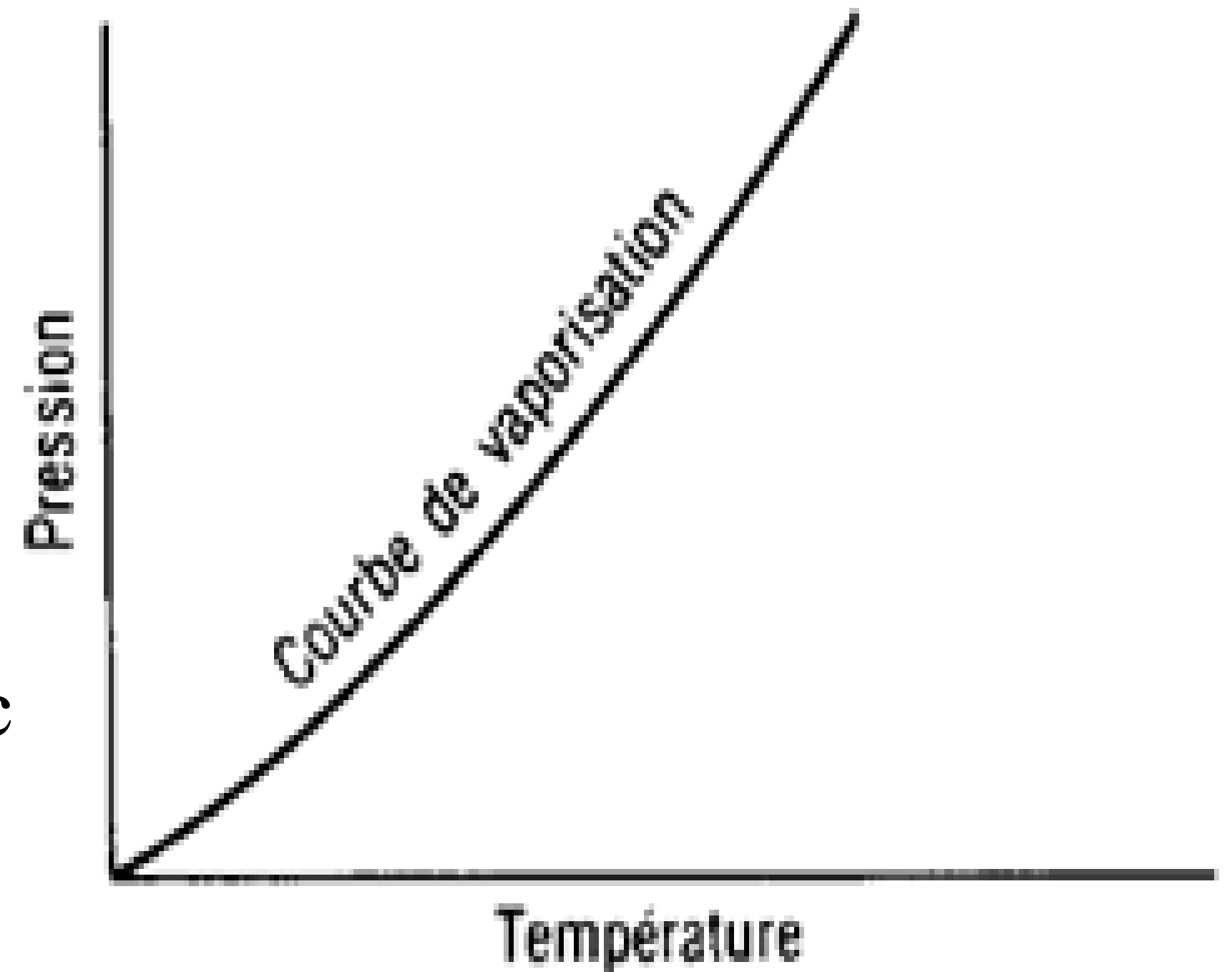
Installations hybrides (solaire-gaz)

Installations à cogénération

Notion sur les centrales nucléaires.

## Courbe De Vaporisation

On appelle *température de saturation* la température à laquelle la vaporisation se produit pour une pression donnée. Semblablement, cette même pression est appelée *pression de saturation* pour la température donnée. Pression et température de saturation sont donc liées par une relation fonctionnelle, que l'on appelle *courbe de vaporisation*.



CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur

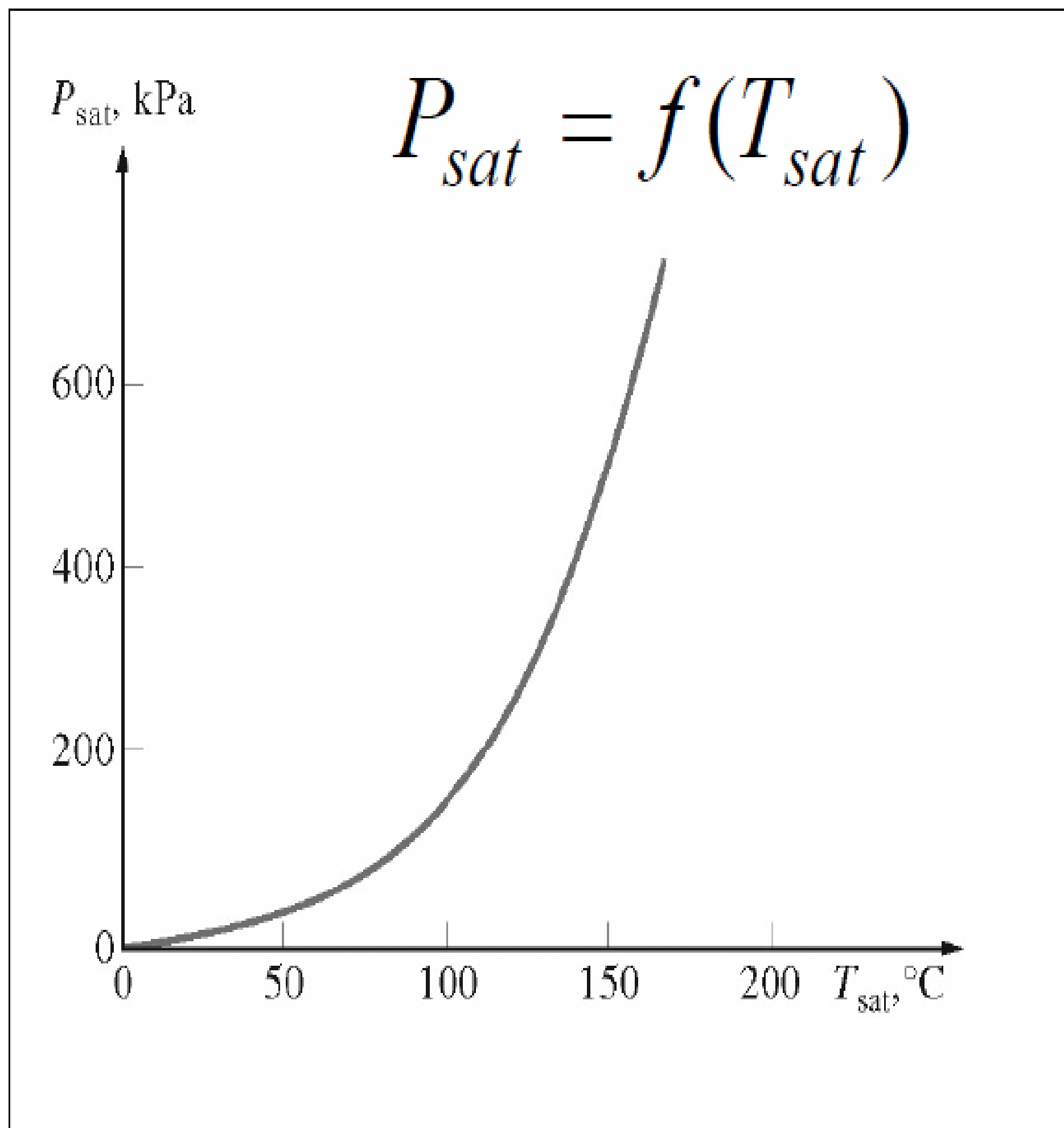
Cycle mixte (gaz-vapeur)

Centrales thermiques à vapeur

Installations hybrides (solaire-gaz)

Installations à cogénération

Notion sur les centrales nucléaires.



Pression de saturation de l'eau pour différentes températures

Température (en degrés Celsius)	Pression de saturation (en kilopascals)
-10	0,26
-5	0,40
0	0,61
5	0,87
10	1,23
15	1,71
20	2,34
25	3,17
30	4,25
40	7,39
50	12,35
100	101,4
150	476,2
200	1 555
250	3 976
300	8 588

CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-vapeur)

Centrales thermiques à vapeur

Installations hybrides (solaire-gaz)

Installations à cogénération

Notion sur les centrales nucléaires.

**Titre de vapeur: x**

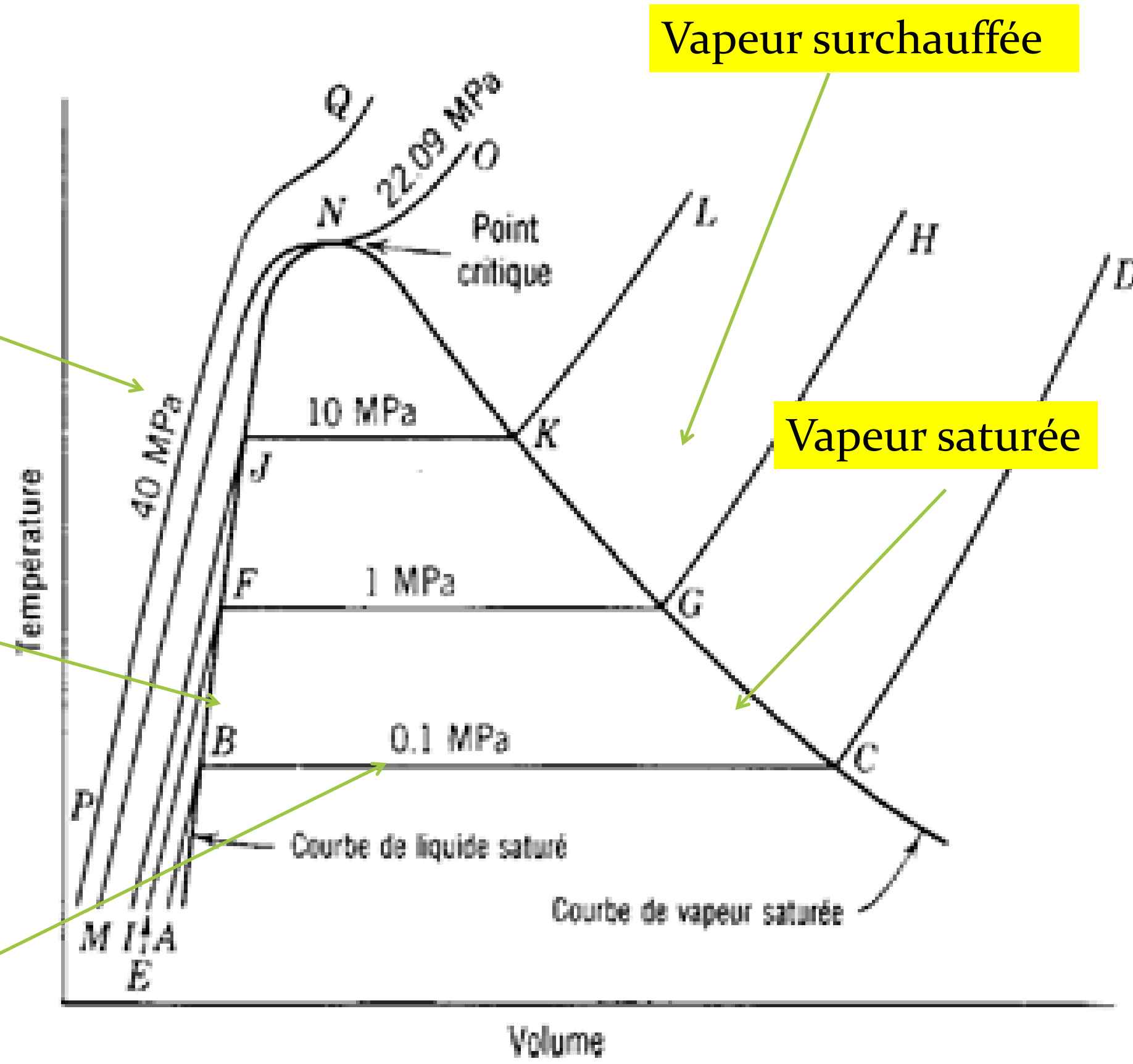
liquide refroidi ou comprimé.

liquide saturé

liquide +vapeur

Vapeur surchauffée

Vapeur saturée



$x = \text{masse(vapeur)} / \text{masse (vapeur+liquide)}.$

CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-vapeur)

Centrales thermiques à vapeur

Installations hybrides (solaire-gaz)

Installations à cogénération

Notion sur les centrales nucléaires.

Tables thermodynamiques

### VAPEUR SURCHAUFFEE

Variables de la vapeur d'eau surchauffée.

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	P = 0,01 MPa (45,81°C)*				P = 0,05 MPa (81,32°C)				P = 0,10 MPa (99,61°C)			
					v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
Sat. <sup>1</sup>	14,670	2 437,2	2 583,9	8,1488	3,2403	2 483,2	2 645,2	7,5931	1,6941	2 505,6	2 675,0	7,3589				
50	14,867	2 443,3	2 592,0	8,1741												
100	17,196	2 515,5	2 687,5	8,4489	3,4187	2 511,5	2 682,4	7,6953	1,6959	2 506,2	2 675,8	7,3611				
150	19,513	2 587,9	2 783,0	8,6893	3,8897	2 585,7	2 780,2	7,9413	1,9367	2 582,9	2 776,6	7,6148				
200	21,826	2 661,4	2 879,6	8,9049	4,3562	2 660,0	2 877,8	8,1592	2,1724	2 658,2	2 875,5	7,8356				
250	24,136	2 736,1	2 977,5	9,1015	4,8206	2 735,1	2 976,2	8,3568	2,4062	2 733,9	2 974,5	8,0346				
300	26,446	2 812,3	3 076,7	9,2827	5,2841	2 811,6	3 075,8	8,5387	2,6389	2 810,7	3 074,5	8,2172				
400	31,063	2 969,3	3 280,0	9,6094	6,2094	2 968,9	3 279,3	8,8659	3,1027	2 968,3	3 278,6	8,5452				
500	35,680	3 132,9	3 489,7	9,8998	7,1338	3 132,6	3 489,3	9,1566	3,5655	3 132,2	3 488,7	8,8362				
600	40,296	3 303,3	3 706,3	10,1631	8,0577	3 303,1	3 706,0	9,4201	4,0279	3 302,8	3 705,6	9,0999				
700	44,911	3 480,8	3 929,9	10,4056	8,9813	3 480,6	3 929,7	9,6626	4,4900	3 480,4	3 929,4	9,3424				
800	49,527	3 665,4	4 160,6	10,6312	9,9047	3 665,2	4 160,4	9,8883	4,9519	3 665,0	4 160,2	9,5682				
900	54,143	3 856,9	4 398,3	10,8429	10,8280	3 856,8	4 398,2	10,1000	5,4137	3 856,7	4 398,0	9,7800				
1 000	58,758	4 055,3	4 642,8	11,0429	11,7513	4 055,2	4 642,7	10,3000	5,8755	4 055,0	4 642,6	9,9800				
1 100	63,373	4 260,0	4 893,8	11,2326	12,6745	4 259,9	4 893,7	10,4897	6,3372	4 259,8	4 893,6	10,1698				
1 200	67,989	4 470,9	5 150,8	11,4132	13,5977	4 470,8	5 150,7	10,6704	6,7988	4 470,7	5 150,6	10,3504				
1 300	72,604	4 687,4	5 413,4	11,5857	14,5209	4 687,3	5 413,3	10,8429	7,2605	4 687,2	5 413,3	10,5229				

### LIQUIDE COMPRIME

Variables de l'eau comprimée.

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	P = 5 MPa (263,94°C)				P = 10 MPa (311,00°C)				P = 15 MPa (342,16°C)			
					v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
Sat.	0,0012862	1 148,1	1 154,5	2,9207	0,0014522	1 393,3	1 407,9	3,3603	0,0016572	1 585,5	1 610,3	3,6848				
0	0,0009977	0,04	5,03	0,0001	0,0009952	0,12	10,07	0,0003	0,0009928	0,18	15,07	0,0004				
20	0,0009996	83,61	88,61	0,2954	0,0009973	83,31	93,28	0,2943	0,0009951	83,01	97,93	0,2932				
40	0,0010057	166,92	171,95	0,5705	0,0010035	166,33	176,37	0,5685	0,0010013	165,75	180,77	0,5666				
60	0,0010149	250,29	255,36	0,8287	0,0010127	249,43	259,55	0,8260	0,0010105	248,58	263,74	0,8234				
80	0,0010267	333,82	338,96	1,0723	0,0010244	332,69	342,94	1,0691	0,0010221	331,59	346,92	1,0659				
100	0,0010410	417,65	422,85	1,3034	0,0010385	416,23	426,62	1,2996	0,0010361	414,85	430,39	1,2958				
120	0,0010576	501,91	507,19	1,5236	0,0010549	500,18	510,73	1,5191	0,0010522	498,50	514,28	1,5148				
140	0,0010769	586,80	592,18	1,7344	0,0010738	584,72	595,45	1,7293	0,0010708	582,69	598,75	1,7243				
160	0,0010988	672,55	678,04	1,9374	0,0010954	670,06	681,01	1,9316	0,0010920	667,63	684,01	1,9259				
180	0,0011240	759,47	765,09	2,1338	0,0011200	756,48	767,68	2,1271	0,0011160	753,58	770,32	2,1206				
200	0,0011531	847,92	853,68	2,3251	0,0011482	844,32	855,80	2,3174	0,0011435	840,84	858,00	2,3100				
220	0,0011868	938,39	944,32	2,5127	0,0011809	934,01	945,82	2,5037	0,0011752	929,81	947,43	2,4951				
240	0,0012268	1 031,6	1 037,7	2,6983	0,0012192	1 026,2	1 038,3	2,6876	0,0012121	1 021,0	1 039,2	2,6774				
260	0,0012755	1 128,5	1 134,9	2,8841	0,0012653	1 121,6	1 134,3	2,8710	0,0012560	1 115,1	1 134,0	2,8586				
280					0,0013226	1 221,8	1 235,0	3,0565	0,0013096	1 213,4	1 233,0	3,0410				
300					0,0013980	1 329,4	1 343,3	3,2488	0,0013783	1 317,6	1 338,3	3,2279				
320									0,0014733	1 431,9	1 454,0	3,4263				
340									0,0016311	1 567,9	1 592,4	3,6555				

Rappels sur le  
changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs  
soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-  
vapeur

Centrales thermiques  
à vapeur

Installations hybrides  
(solaire-gaz)

Installations à  
cogénération

Notion sur les  
centrales nucléaires.

## Cycles Thermodynamiques

Un cycle thermodynamique sur une machine est un ensemble de processus effectués de telle sorte que le système revient à son point de départ.

$$\Delta U = U(\text{final}) - U(\text{initial}) = U(\text{initial}) - U(\text{initial}) = 0.$$

De même  $\Delta H = 0$  et  $\Delta S = 0$

**D'après le premier principe**

$$Q - W = \Delta U \text{ pour un système fermé}$$

$$Q - W = \Delta H \text{ pour un système ouvert}$$

**On a aussi** 
$$W_{\text{cycle}} = Q_{\text{cycle}}$$

CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le  
 changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs  
 soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-  
 vapeur

Centrales thermiques  
 à vapeur

Installations hybrides  
 (solaire-gaz)

Installations à  
 cogénération

Notion sur les  
 centrales nucléaires.

$$W_{\text{net}} = W_{\text{fourni}} - W_{\text{reçu}}$$

$W_{\text{fourni}}$  : fourni par la machine

$W_{\text{reçu}}$  : reçu par la machine

$$\eta = W_{\text{cycle (net)}}/Q_c(\text{reçue})$$

$$= (W_{\text{fourni}} - W_{\text{reçu}})/Q_c = Q_{\text{cycle}}/Q_c$$

$$= (Q_c - Q_f)/Q_c$$

$$= 1 - (Q_f/Q_c)$$

Comme  $Q_f$  est toujours négative donc



Rappels sur le changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-vapeur)

Centrales thermiques à vapeur

Installations hybrides (solaire-gaz)

Installations à cogénération

Notion sur les centrales nucléaires.

## cycle de RANKINE

C'est le cycle idéal de la turbine à vapeur :

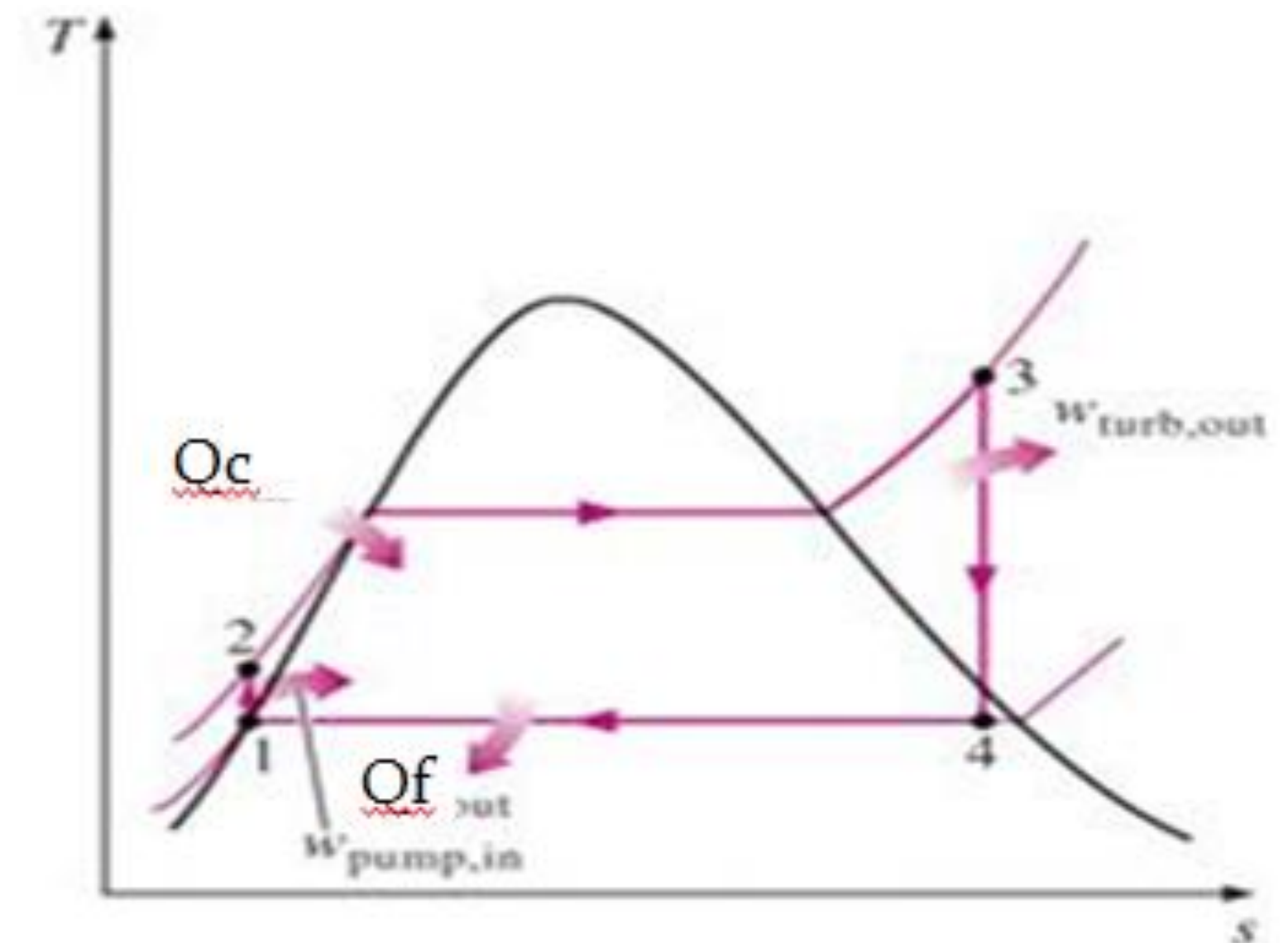
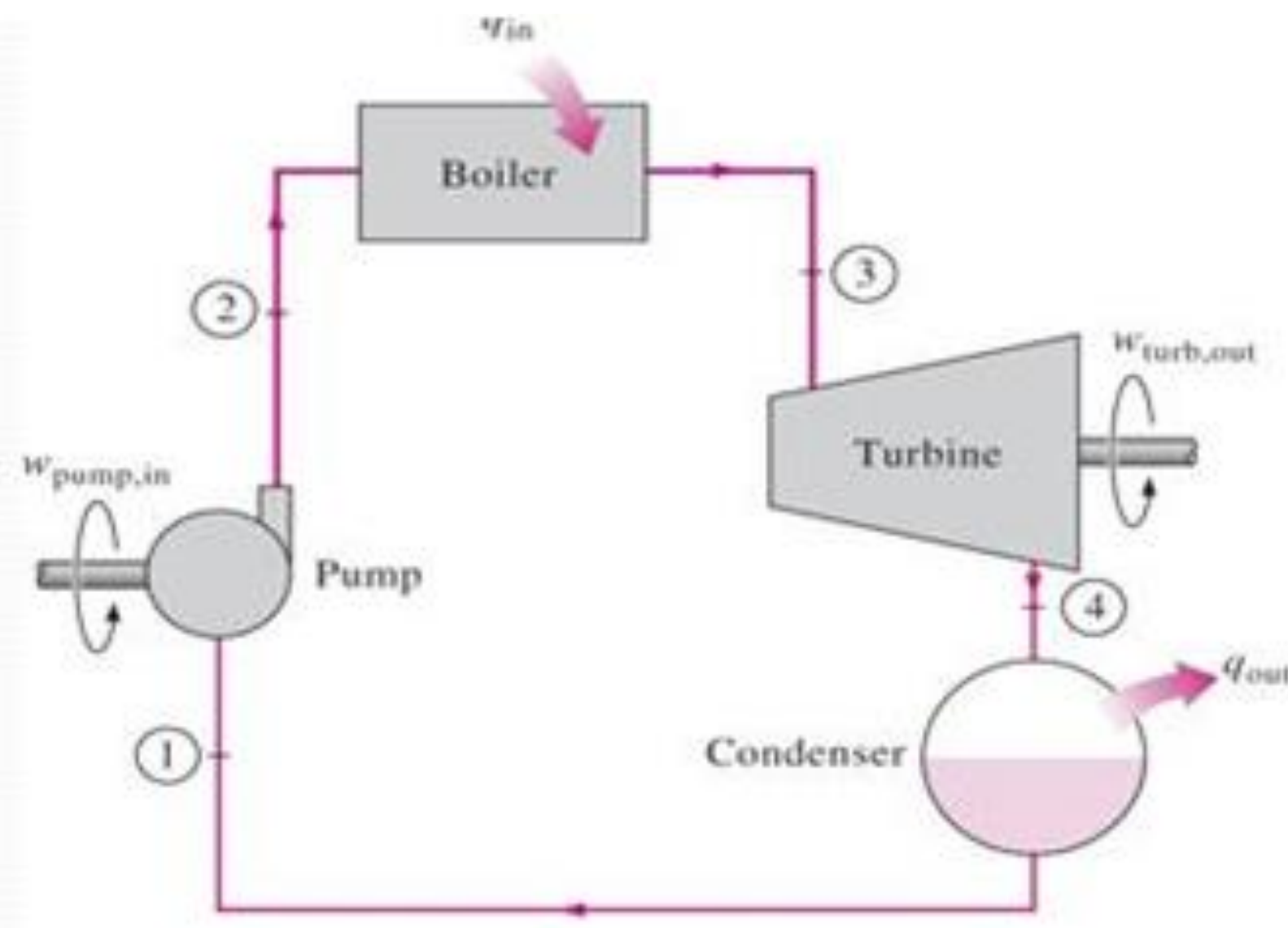
Les transformations qui composent le cycle sont:

**1-2:** Pompage isentropique effectué par la pompe

**2-3:** Echange de chaleur isobare dans la chaudière

**3-4:** Détente isentropique dans la turbine

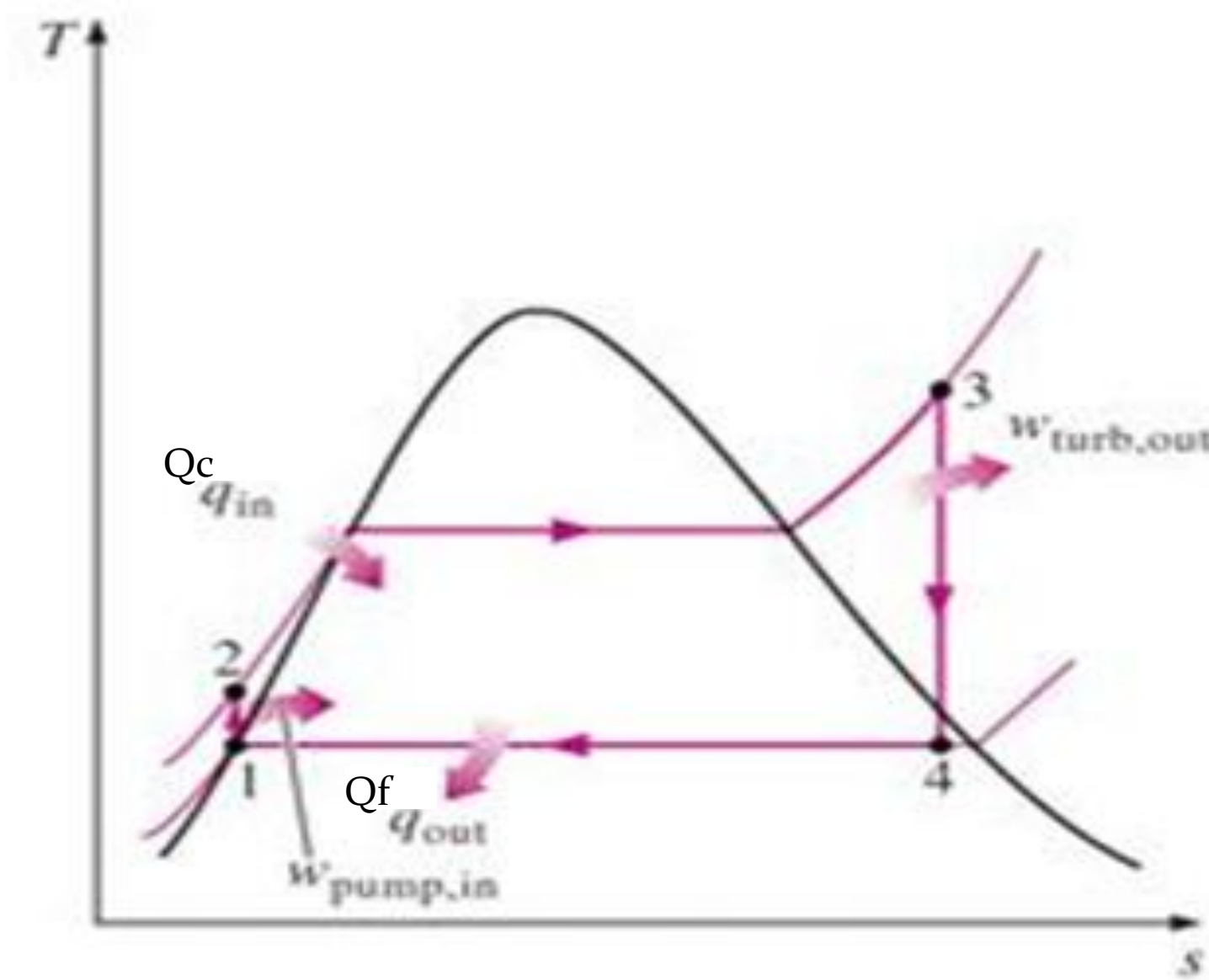
**4-1:** Echange de chaleur isobare dans le condenseur



CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

- Rappels sur le changement de phase
- Cycle de Rankine
- Cycle de Hirn
- Cycle à resurchauffe
- Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur
- Cycle mixte (gaz-vapeur)
- Centrales thermiques à vapeur
- Installations hybrides (solaire-gaz)
- Installations à cogénération
- Notion sur les centrales nucléaires.

**cycle de RANKINE**



**1-2 Compression isentropique dans la pompe:**

$$w_p = h_2 - h_1 \quad w_p = v_1(P_2 - P_1)$$

**2-3 Apport de chaleur à pression constante dans la chaudière:**

$$q_c = h_3 - h_2$$

**3-4 Détente isentropique dans la turbine:**

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

**4-1 Évacuation de la chaleur à pression constante dans le condenseur:**

$$q_f = h_4 - h_1$$

**Rendement**

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_c} = \frac{w_{turb,out} - w_{pompe,in}}{q_c} = \frac{q_c - q_f}{q_c} = 1 - \frac{q_f}{q_c}$$

Rappels sur le  
changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs  
soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-  
vapeur

Centrales thermiques  
à vapeur

Installations hybrides  
(solaire-gaz)

Installations à  
cogénération

Notion sur les  
centrales nucléaires.

## Exercice cycle de RANKINE

**Déterminez le rendement d'un cycle de Rankine utilisant la vapeur d'eau comme fluide moteur. On donne**

- **La pression au condenseur est de 10 kPa,**
- **La pression de la chaudière est de 2 Mpa**
- **La vapeur en sort à l'état saturée**

Rappels sur le changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-vapeur)

Centrales thermiques à vapeur

Installations hybrides (solaire-gaz)

Installations à cogénération

Notion sur les centrales nucléaires.

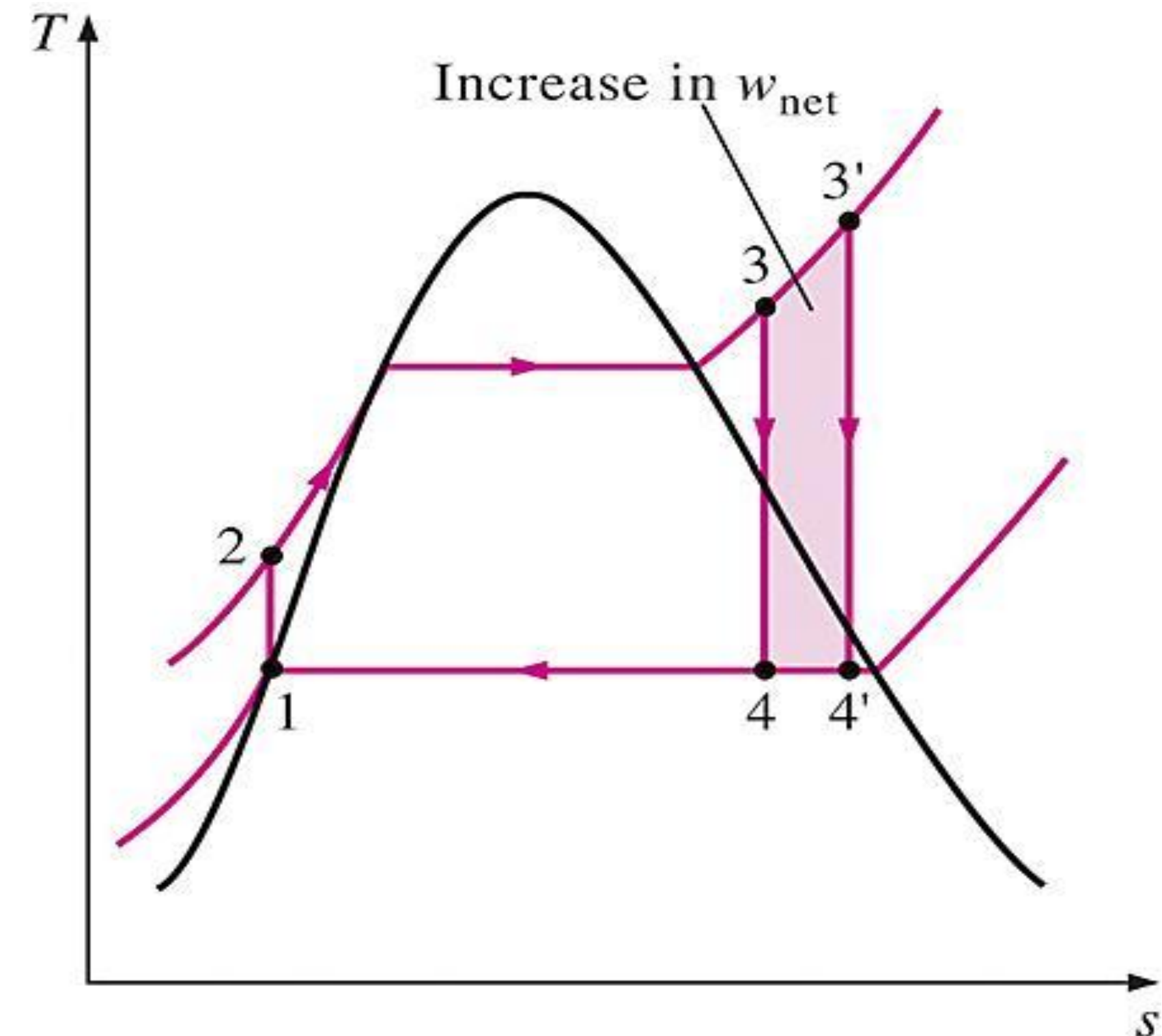
## Le cycle Rankine à surchauffe **Cycle de Hirn**

On peut accroître le rendement du cycle de Rankine en chauffant la vapeur à haute température, on peut augmenter la température  $T_c$

- Le travail additionnel produit est la surface ombrée
- 3-3' représente la chaleur additionnelle fournie

### Inconvénients:

$T_c$  est limitée (propriétés mécaniques des aubes de la turbine)



**Le rendement augmente**

CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-vapeur)

Centrales thermiques à vapeur

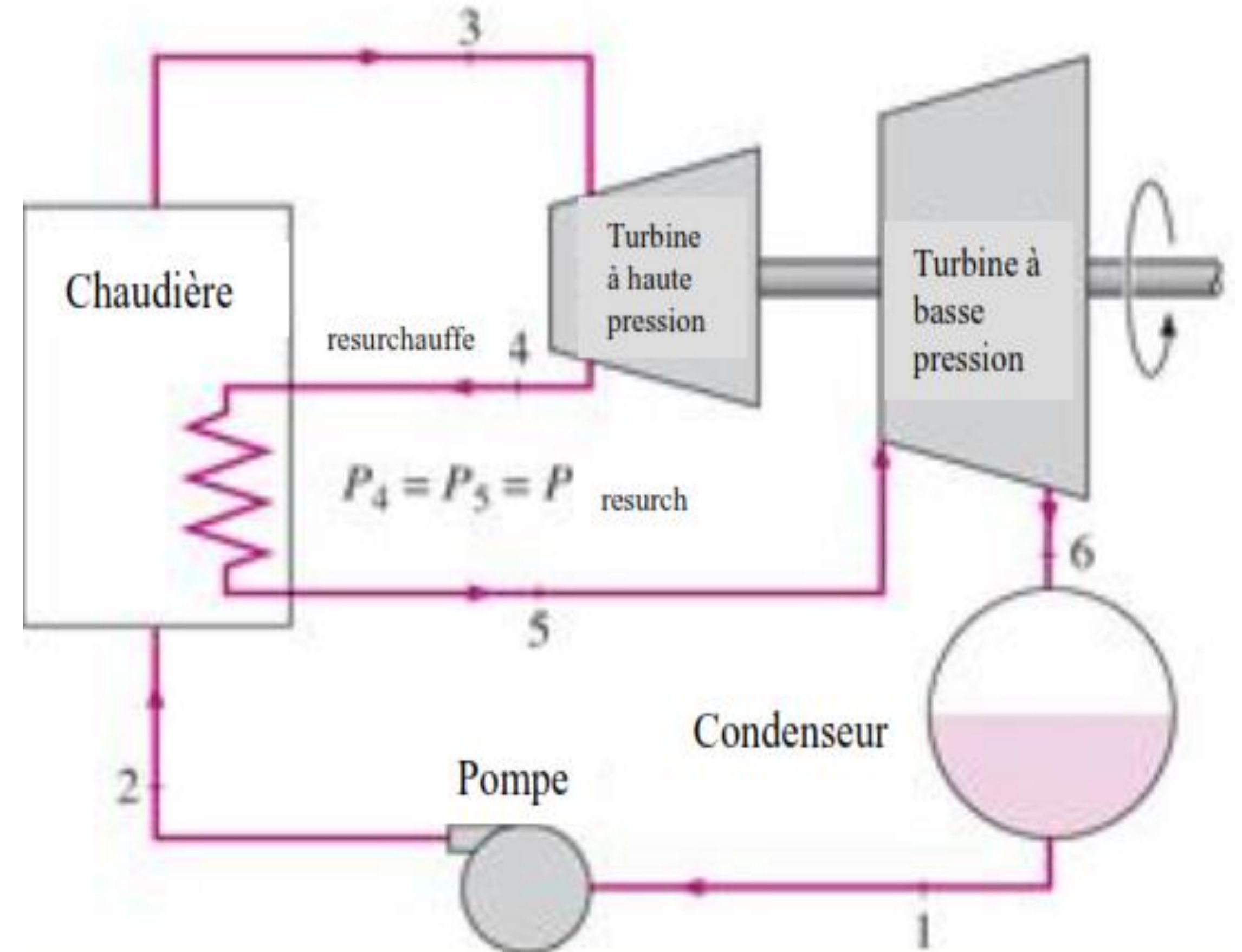
Installations hybrides (solaire-gaz)

Installations à cogénération

Notion sur les centrales nucléaires.

Cycle à resurchauffe

Puisqu'on est limité par les propriétés mécaniques des matériaux on utilise une turbine à deux étages pour détendre la vapeur d'eau, on modifie le cycle de Rankine « Cycle à Resurchauffe »



Rappels sur le  
changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs  
soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-  
vapeur

Centrales thermiques  
à vapeur

Installations hybrides  
(solaire-gaz)

Installations à  
cogénération

Notion sur les  
centrales nucléaires.

## EXERCICE

**On considère un cycle à resurchauffe fonctionnant avec la vapeur d'eau. La vapeur sort de la chaudière et entre dans la turbine à 4 Mpa et 400°C. Après une détente dans la turbine jusqu'à 400 kPa, la vapeur est resurchauffée à 400°C, puis elle est détendue dans la turbine à basse pression jusqu'à 10 kPa.**

**Déterminer le rendement du cycle**

CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-vapeur)

Centrales thermiques à vapeur

Installations hybrides (solaire-gaz)

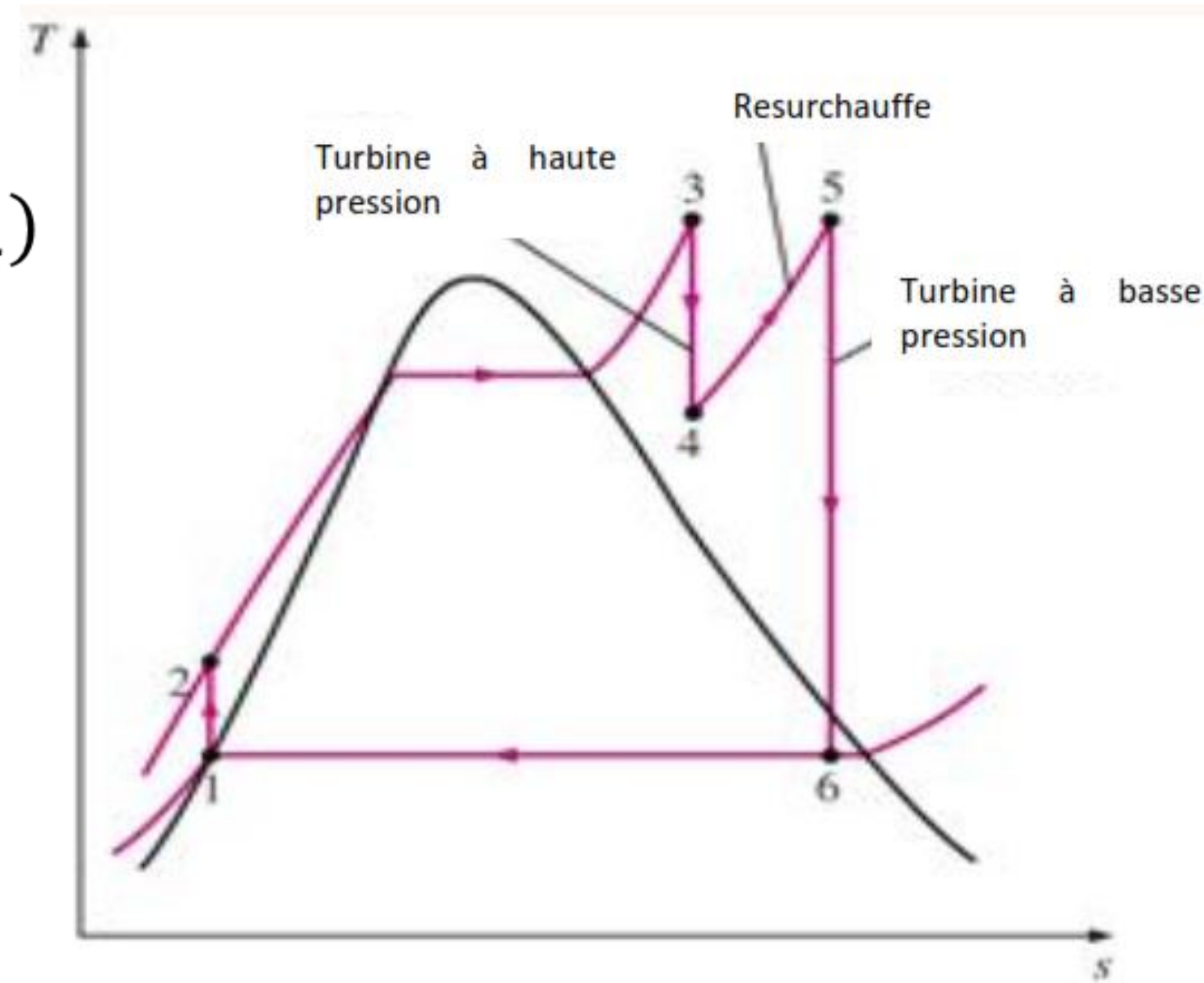
Installations à cogénération

Notion sur les centrales nucléaires.

$$Q_c = (h_3 - h_2) + (h_5 - h_4)$$

$$W_t = W_{t1} + W_{t2}$$

$$= (h_3 - h_4) + (h_5 - h_6)$$



CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-vapeur)

Centrales thermiques à vapeur

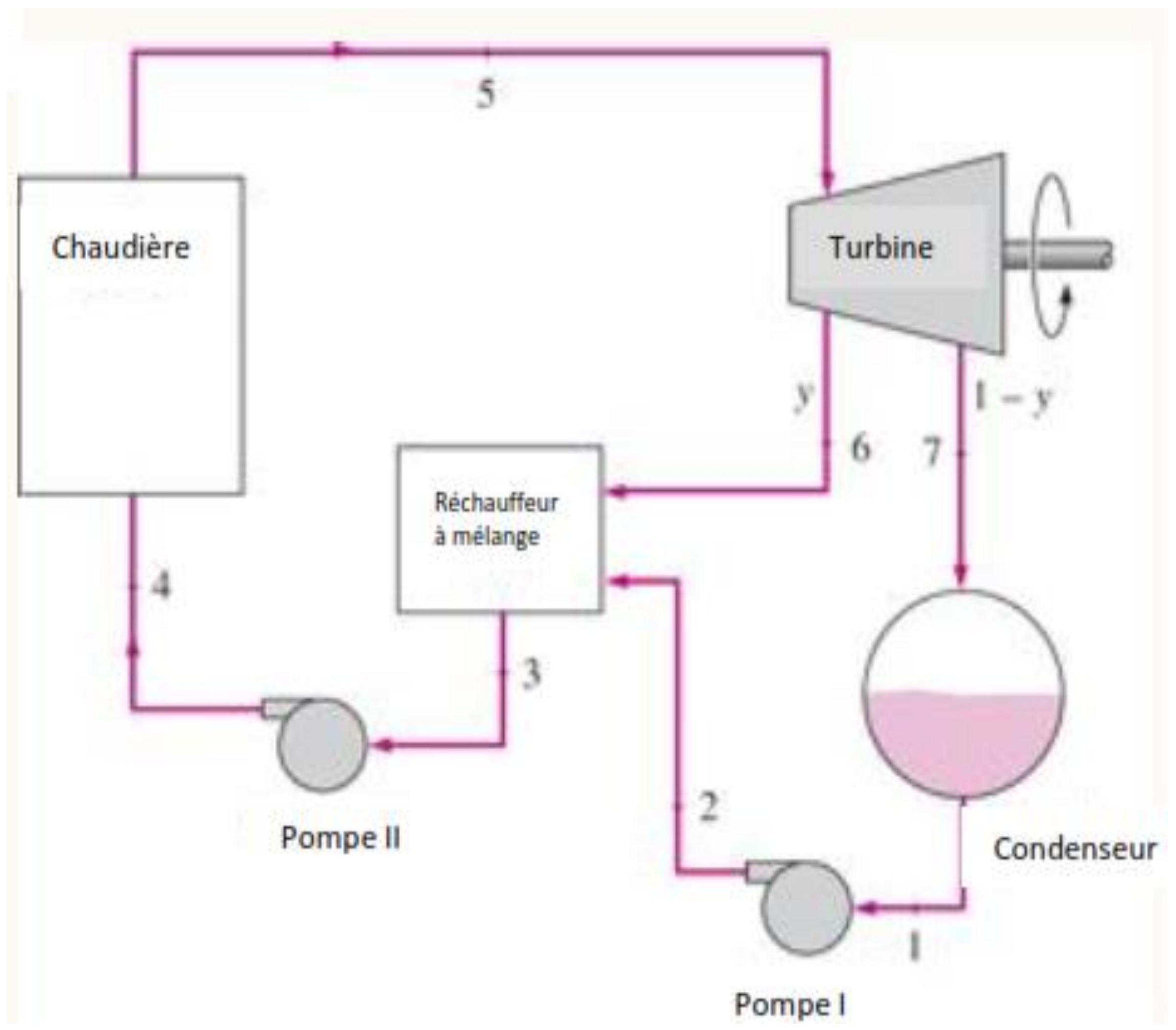
Installations hybrides (solaire-gaz)

Installations à cogénération

Notion sur les centrales nucléaires.

Cycle à régénération

Une petite partie de la vapeur soutirée de la turbine et détournée dans un échangeur de chaleur appelé un régénérateur





CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-vapeur)

Centrales thermiques à vapeur

Installations hybrides (solaire-gaz)

Installations à cogénération

Notion sur les centrales nucléaires.

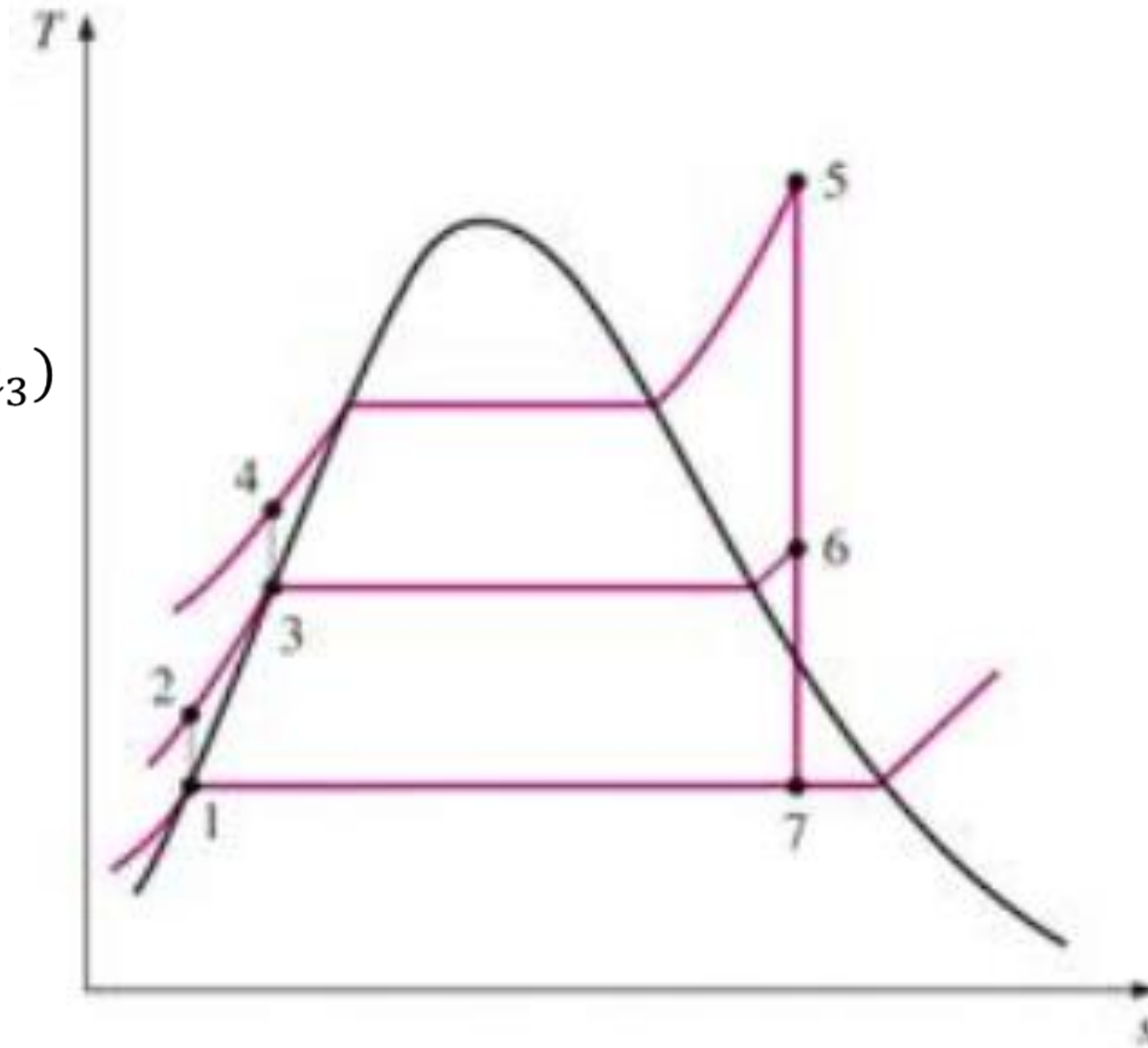
$$Q_c = h_5 - h_4$$

$$Q_f = (1 - y) \cdot (h_7 - h_1)$$

$$W_p = W_{p1} + W_{p2} \\ = (1 - y)(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3)$$

$$W_t = W_{t1} + W_{t2} \\ = (h_5 - h_6) \\ + (1 - y)(h_6 - h_7)$$

$$y = \dot{m}_6 / \dot{m}_5$$



Rappels sur le  
changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs  
soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-  
vapeur

Centrales thermiques  
à vapeur

Installations hybrides  
(solaire-gaz)

Installations à  
cogénération

Notion sur les  
centrales nucléaires.

## EXERCICE

**On considère un cycle à régénération fonctionnant avec la vapeur d'eau. La vapeur sort de la chaudière et entre dans la turbine à 4 Mpa et 400°C. Après une détente dans la turbine jusqu'à 400 kPa, une partie de la vapeur est extraite de la turbine afin de chauffer l'eau d'alimentation dans un réchauffeur. La pression dans le réchauffeur est de 400 kPa et l'eau qui en sort est à l'état de liquide saturé à 400 kPa.**

**La vapeur non extraite se détend jusqu'à 10 kPa.**

**Déterminer le rendement du cycle**

CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-vapeur)

Centrales thermiques à vapeur

Installations hybrides (solaire-gaz)

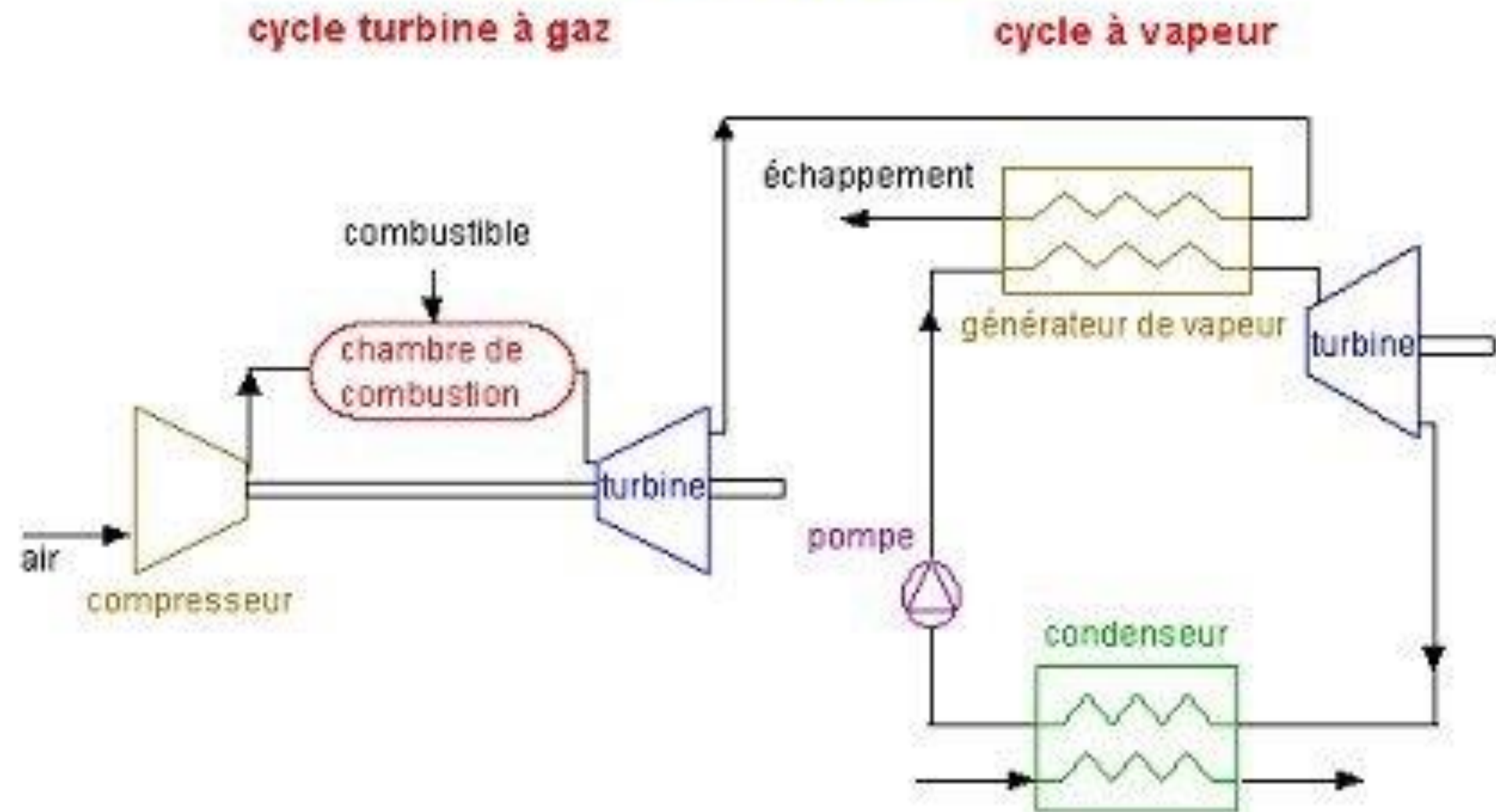
Installations à cogénération

Notion sur les centrales nucléaires.

Cycle mixte gaz-vapeur :

Une centrale à cycle combiné, est une centrale thermique qui associe deux types de turbines : turbine à gaz et turbine à vapeur. Chacune de ces turbines entraîne une génératrice qui produit de l'électricité.

schéma d'un cycle combiné



Rappels sur le changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-vapeur)

Centrales thermiques à vapeur

Installations hybrides (solaire-gaz)

Installations à cogénération

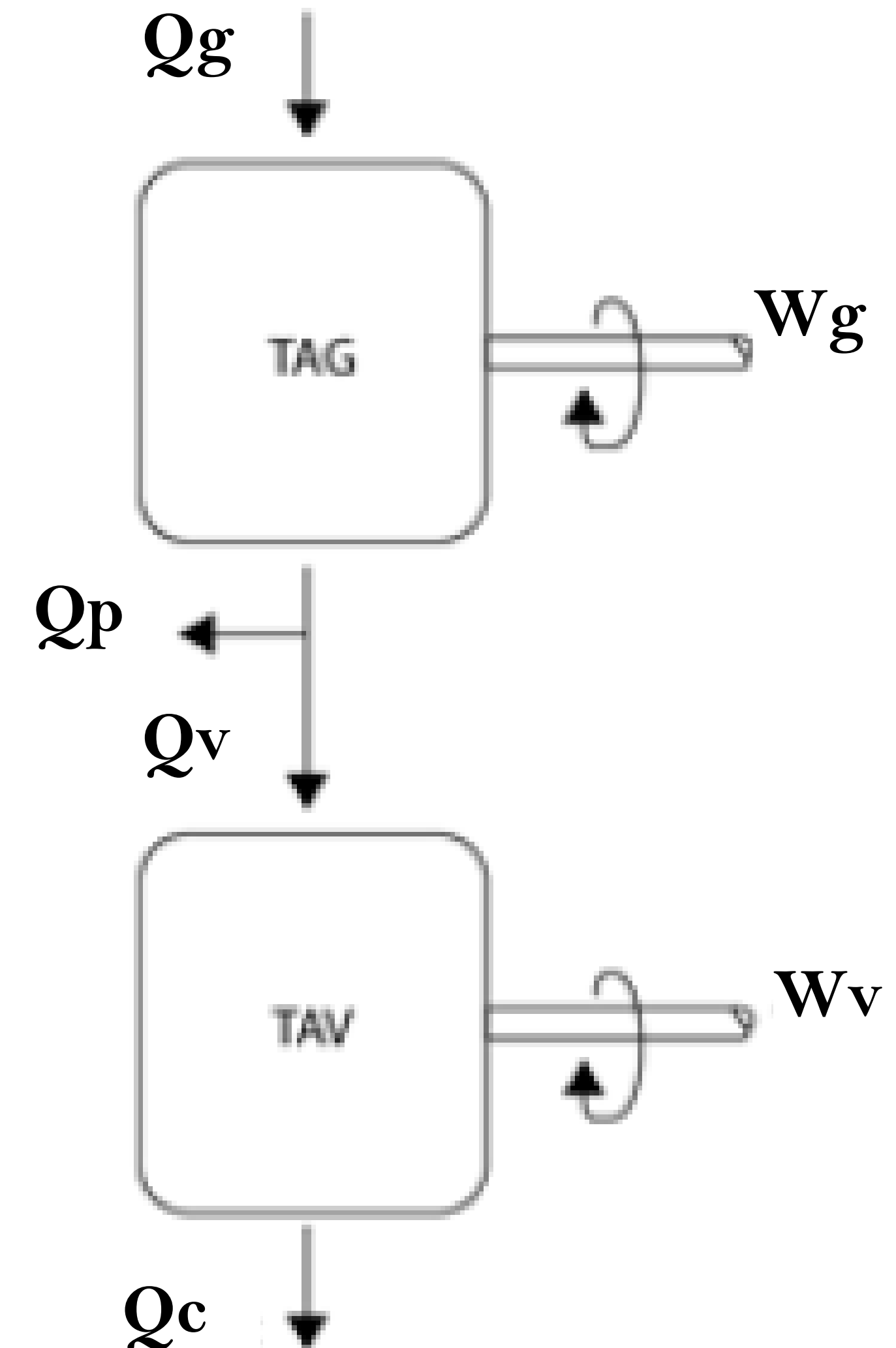
Notion sur les centrales nucléaires.

## Échanges enthalpiques dans un cycle combiné

Les échanges enthalpiques au sein d'un cycle combiné peuvent être résumés par le schéma de cette figure :

la turbine à gaz reçoit la chaleur  $Q_g$  de la source chaude. Il en sort d'une part un travail utile  $W_g$ , et d'autre part une chaleur ( $Q_v + Q_p$ ). Le premier terme correspond à la chaleur fournie au cycle à vapeur, le second à des pertes ;

le cycle à vapeur produit un travail utile  $W_v$ , et rejette au condenseur la chaleur  $Q_c$ .



Échanges d'énergie dans un cycle combiné

CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le  
 changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs  
 soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-  
 Vapeur)

Centrales thermiques  
 à vapeur

Installations hybrides  
 (solaire-gaz)

Installations à  
 cogénération

Notion sur les  
 centrales nucléaires.

Soit  $\eta_g$  le rendement de la turbine à gaz,  $\eta_v$  celui du cycle à vapeur,  $\eta_{cc}$  celui du cycle combiné, et  $\varepsilon$  l'efficacité du Générateur de Vapeur, c'est-à-dire le rapport de  $Q_v$  à  $Q_p + Q_v$

Le rendement thermique cc du cycle combiné se calcule comme suit

$$\eta_{cc} = \frac{W_g + W_v}{Q_g} = \eta_g + \frac{Q_v}{Q_g} \eta_v$$

Avec :

**g** : le rendement de la turbine à gaz

**v** : le rendement de la turbine à vapeur

CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le  
 changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs  
 soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-  
 Vapeur)

Centrales thermiques  
 à vapeur

Installations hybrides  
 (solaire-gaz)

Installations à  
 cogénération

Notion sur les  
 centrales nucléaires.

Le terme  $\frac{Q_v}{Q_g}$  dans l'expression de  $\eta_{cc}$  peut être écrit en fonction de l'efficacité d'une chaudière de récupération  $\eta_{CR}$  car on a :

$$\eta_{CR} = \frac{Q_v}{Q_P + Q_v} = \frac{1}{1 - \eta_g} \frac{Q_v}{Q_g}$$

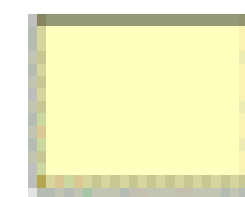
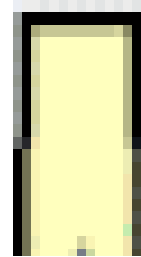
d'où :

$$\eta_{cc} = \eta_g + \eta_{CR} (1 - \eta_g) \eta_v$$

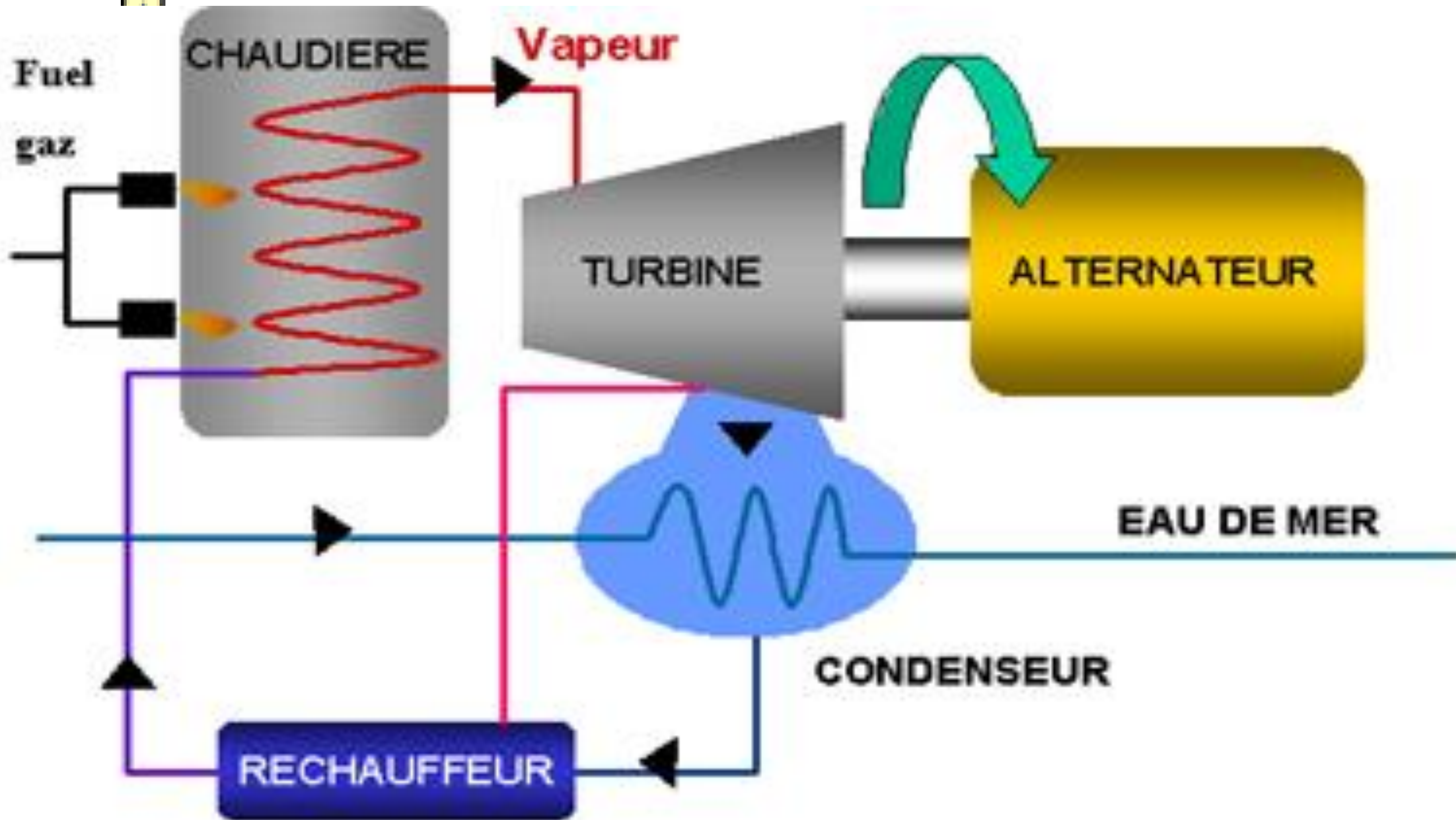
CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES



Cheminée



Fumées



Dispositifs antipollution

Brûleur

Pulvérisateur

Pompe

Condenseur

Eau de refroidissement



CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le  
 changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs  
 soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-  
 vapeur)

Centrales thermiques  
 à vapeur

Installations hybrides  
 (solaire-gaz)

Installations à  
 cogénération

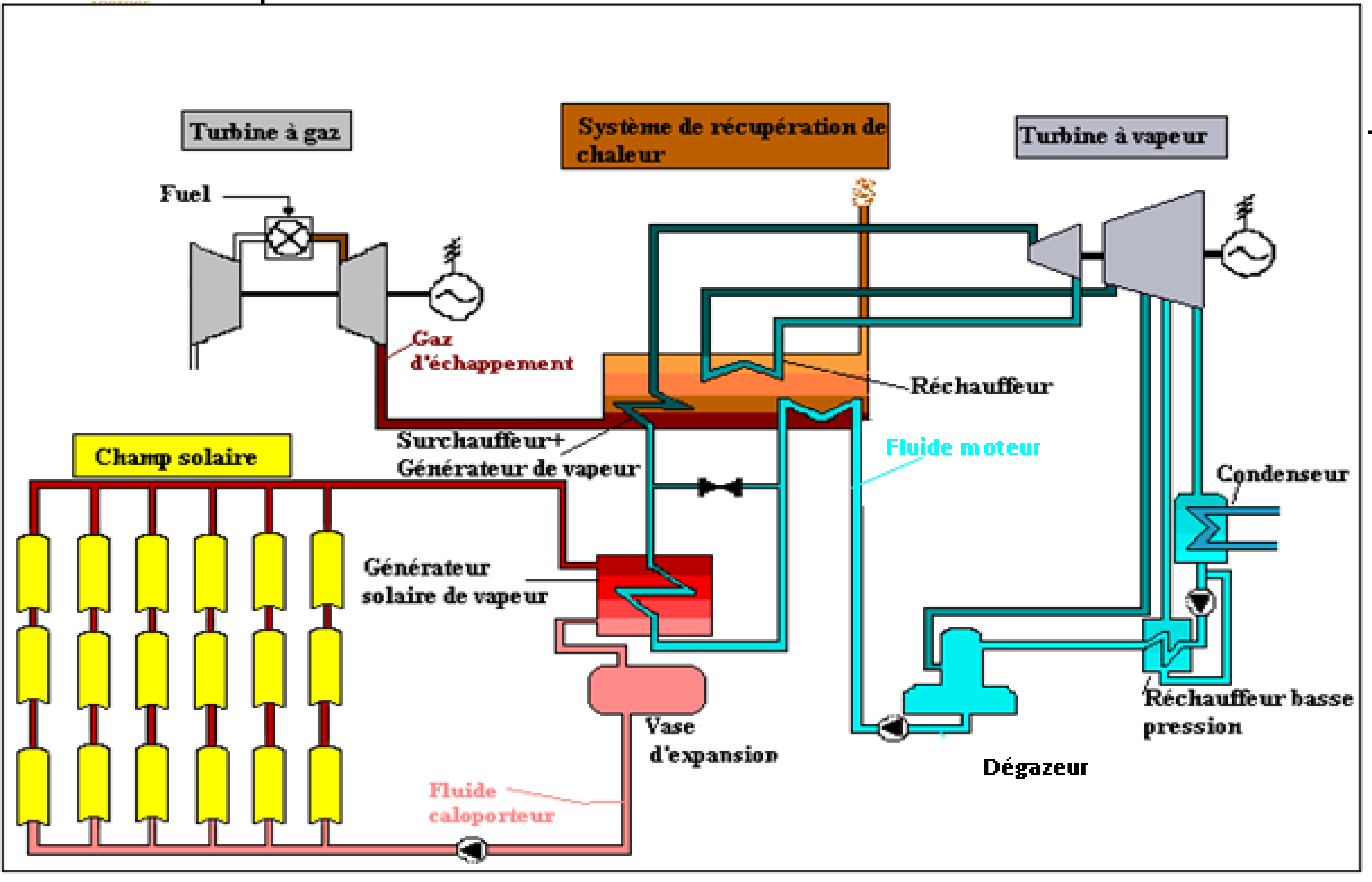
Notion sur les  
 centrales nucléaires.

Une centrale thermique solaire à concentration comme toute installation thermodynamique solaire, doit remplir les mêmes fonctions pour transformer l'énergie du rayonnement incident en énergie électrique avec la meilleure efficacité possible et cela selon les étapes suivantes la concentration du rayonnement sur l'entrée du récepteur,

- son absorption sur les parois du récepteur et la transformation de son énergie en chaleur,
- le transport et éventuellement le stockage de cette chaleur,
- sa délivrance à un cycle thermodynamique associé à un alternateur pour la production d'électricité.

Parmi les techniques de conversion d'énergie solaire en électricité, la voie électro-thermo-solaire à l'aide d'un cycle combiné. Son principe de fonctionnement réside dans la récupération de la chaleur de combustion des gaz dans la turbine, en vue de la production de vapeur dans une chaudière de récupération (CR) appelé aussi générateur de vapeur-récupérateur (GVR) qui elle-même sert à alimenter une deuxième turbine

Voir **Cycle mixte (gaz-vapeur)**



## CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le  
changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs  
soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-  
vapeur

Centrales thermiques  
à vapeur

Installations hybrides  
(solaire-gaz)

Installations à  
cogénération

Notion sur les  
centrales nucléaires.

On appelle cogénération la production combinée d'énergie thermique et d'énergie mécanique ou d'électricité.

Les gaz de combustion très chauds sortant d'une turbine à gaz servent à réchauffer un fluide pour le chauffage des locaux.

De petites turbines de ce type peuvent être intégrées à de grands immeubles, à des quartiers administratifs, à des ensembles commerciaux, à des ateliers ou à des usines. La fumée produite par la combustion du gaz naturel, bien que provenant d'une plus grosse unité de consommation, est moins polluante que celles des anciennes chaudières à charbon ou à mazout qui servaient pour le chauffage des locaux.

CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le  
changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs  
soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-  
vapeur

Centrales thermiques  
à vapeur

Installations hybrides  
(solaire-gaz)

Installations à  
cogénération

Notion sur les  
centrales nucléaires.



CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs soutirages de vapeur

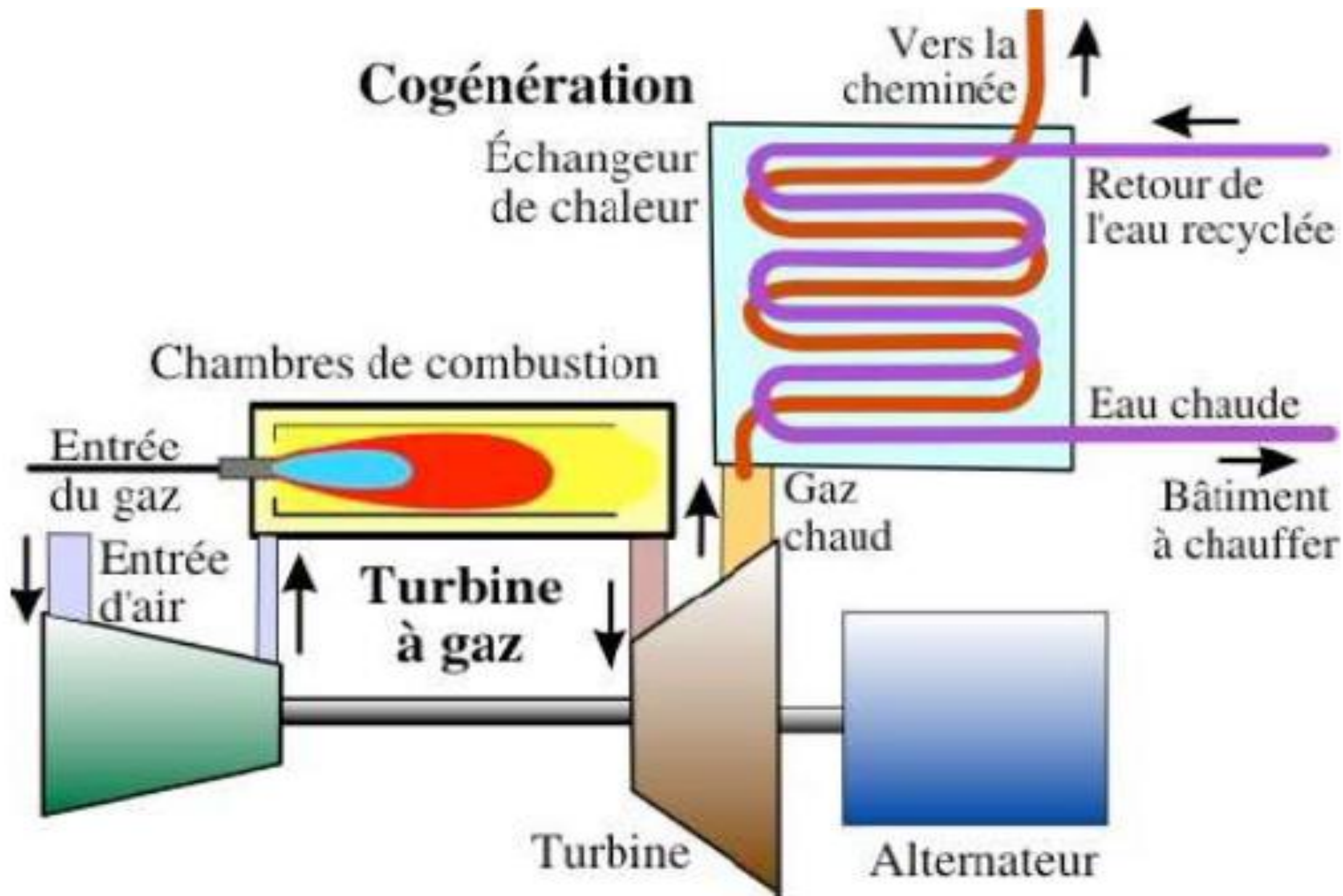
Cycle mixte (gaz-vapeur)

Centrales thermiques à vapeur

Installations hybrides (solaire-gaz)

Installations à cogénération

Notion sur les centrales nucléaires.



CHAPITRE 2. LES CYCLES DE PUISSANCE À DEUX PHASES

Rappels sur le  
changement de phase

Cycle de Rankine

Cycle de Hirn

Cycle à resurchauffe

Cycle à un ou plusieurs  
soutirages de vapeur

Cycle mixte (gaz-  
vapeur

Centrales thermiques  
à vapeur

Installations hybrides  
(solaire-gaz)

Installations à  
cogénération

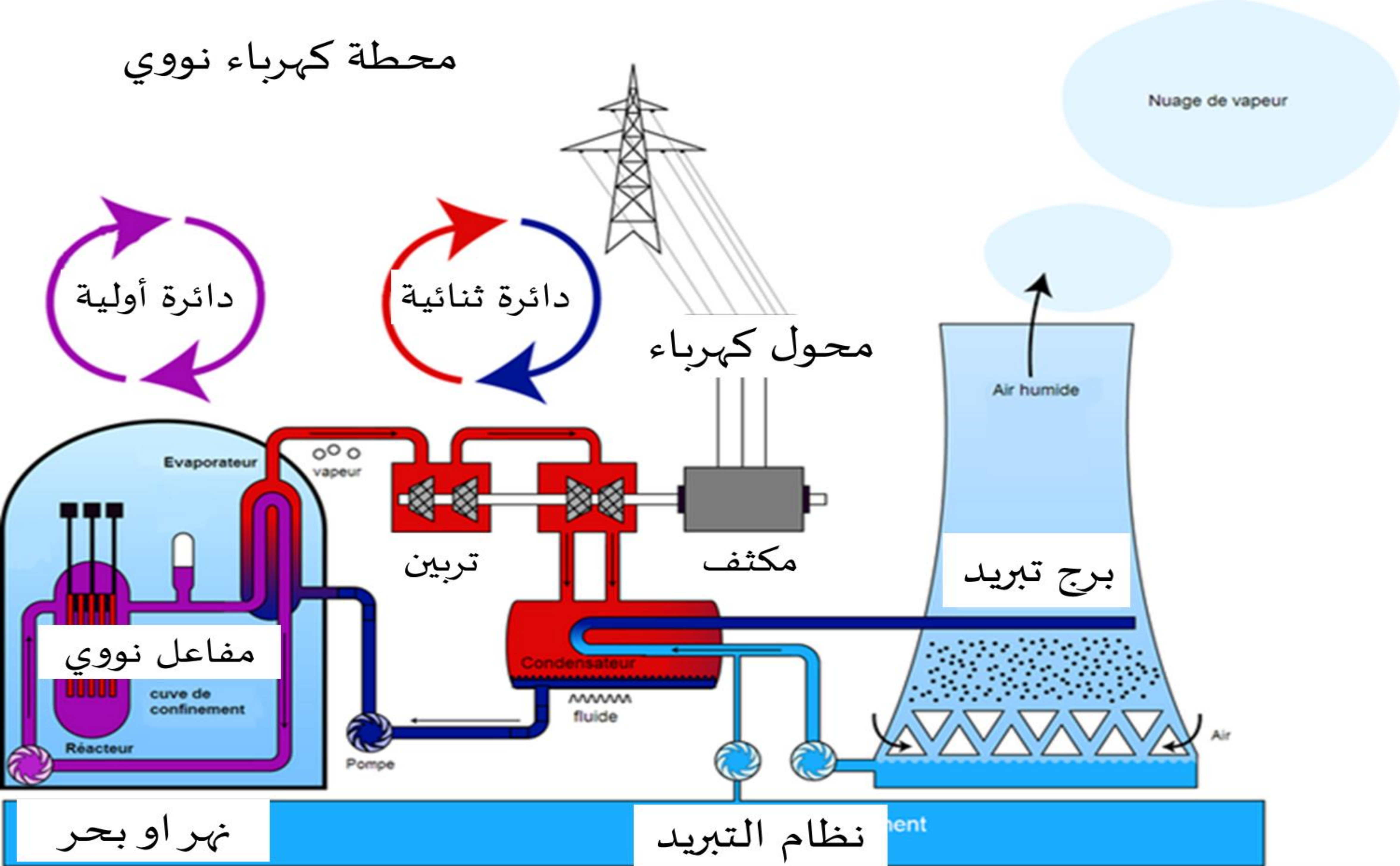
Notion sur les  
centrales nucléaires.

Une **centrale nucléaire** produit de **l'énergie électrique** en utilisant la **fission nucléaire** pour produire la **chaleur** nécessaire à la production de l'électricité. Elle utilise pour cela la chaleur libérée par l'**uranium** qui constitue le "**combustible nucléaire**". L'objectif est de faire chauffer de l'eau afin d'obtenir de la vapeur. La pression de la vapeur permet de faire tourner à grande vitesse une **turbine**, laquelle entraîne un **alternateur** qui produit de l'électricité. (principe similaire à celui d'une centrale thermique)

محطة الطاقة النووية:

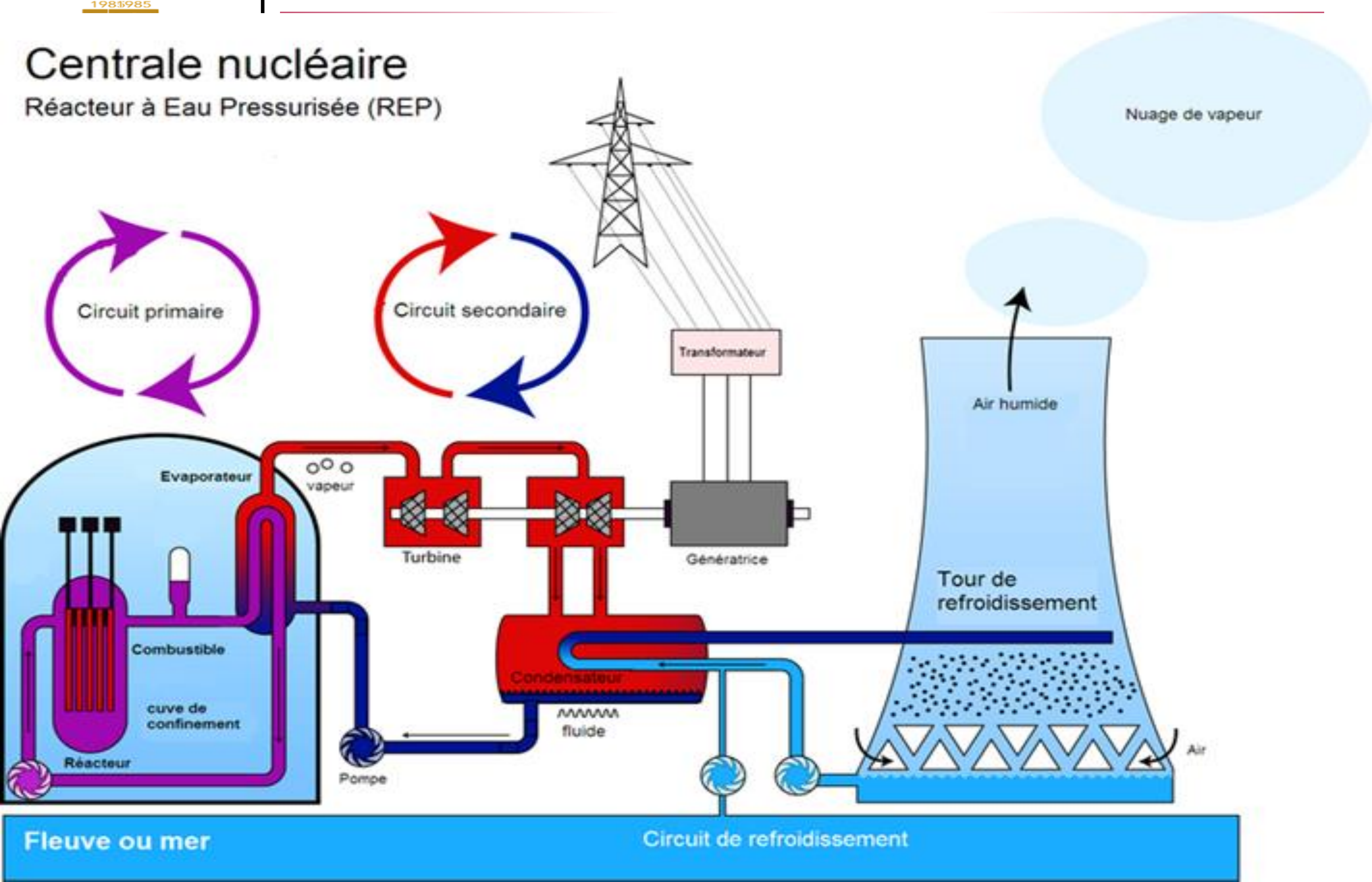
تنتج محطة للطاقة النووية طاقة كهربائية باستخدام الانشطار النووي لإنتاج الحرارة اللازمة لتوليد الكهرباء. يستخدم لهذا الغرض الحرارة المنبعثة من اليورانيوم الذي يشكل "الوقود النووي". الهدف هو تسخين الماء للحصول على البخار. يسمح ضغط البخار للتوربين بالدوران بسرعة عالية ، مما يدفع المولد الذي ينتج الكهرباء. (مبدأ مشابه لمبدأ محطة الطاقة الحرارية)

# محطة كهرباء نووي



# Centrale nucléaire

Réacteur à Eau Pressurisée (REP)



Circuit primaire

Circuit secondaire

Evaporateur

vapeur

Turbine

Transformateur

Génératrice

Air humide

Tour de refroidissement

Combustible

cuve de confinement

Réacteur

Condensateur

fluides

Pompe

Air

Fleuve ou mer

Circuit de refroidissement

Nuage de vapeur